

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES



DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA DE TELEVISIÓN
DIGITAL TERRESTRE PARA MEJORAR LA COBERTURA DE UNA
ESTACIÓN DE TELEVISIÓN ABIERTA UBICADA EN EL CERRO
PARA DE LA CIUDAD DE TACNA, 2022

TESIS

Presentada por:

Br. Carlos Armando Rodríguez Silva

ORCID: 0009-0001-2991-8005

Asesor:

Mag. Hugo Javier Rivera Herrera

ORCID: 0000-0002-9896-5008

Para obtener el Grado Académico de:
MAESTRO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES

TACNA – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES

Tesis: “DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA DE
TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE PARA MEJORAR LA
COBERTURA DE UNA ESTACIÓN DE TELEVISIÓN ABIERTA
UBICADA EN EL CERRO PARA DE LA CIUDAD DE TACNA, 2022”

Presentada por:

Br. Carlos Armando Rodríguez Silva

Tesis sustentada y aprobada el 3 de mayo del 2024; ante el siguiente jurado
examinador:

PRESIDENTE: Dr. Anibal Juan ESPINOZA ARANCIAGA

SECRETARIO: Mag. Tito Leoncio CÓRDOVA MIRANDA

VOCAL: Mtro. Tito Fernando ALE NIETO

ASESOR: Mag. Hugo Javier Rivera Herrera

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo **Carlos Armando RODRÍGUEZ SILVA**, en calidad de: Egresado de la Maestría de Ingeniería Electrónica con Mención en Telecomunicaciones de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 00494704.

Soy autor de la tesis titulada: “**DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE PARA MEJORAR LA COBERTURA DE UNA ESTACIÓN DE TELEVISIÓN ABIERTA UBICADA EN EL CERRO PARA DE LA CIUDAD DE TACNA, 2022**”, con asesor: **Mag. Hugo Javier Rivera Herrera**.

DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de **Maestro en Ingeniería Electrónica con Mención en Telecomunicaciones**, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 20% de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención

presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiénome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 3 de mayo del 2024



Carlos Armando Rodríguez Silva

DNI 00494704

Dedicatoria

Dedico esta tesis en primer lugar a Dios, que es el que me ha permitido realizar esta tesis y luego a mi familia que me ha motivado a continuar con mis estudios.

Agradecimientos

Agradezco a las personas que me apoyaron para lograr a cabo esta tesis y a los que me impulsaron para que este proyecto se haga realidad.

Índice de contenido

Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Índice de contenido	vi
Resumen	xv
Abstract	xvi
Introducción	1
Capítulo I: El Problema.....	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Interrogante principal.....	4
1.2.2. Interrogantes específicas.....	4
1.3. Justificación de la investigación	4
1.4. Objetivos de la investigación	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Alcances de la investigación	5
1.6. Limitaciones de la investigación	6
Capítulo II: Marco Teórico	7
2.1. Antecedentes de la Investigación	7
2.1.1. Internacionales	7
2.1.2. Nacionales.....	11
2.2. Bases teóricas	12
2.2.1. Concepto de Televisión	12
2.2.1.1 Televisión Analógica	13
2.2.1.2 Televisión Digital	15
2.2.2. Televisión Digital Terrestre	15
2.2.2.1 Ventajas de la Televisión Digital Terrestre	16
2.2.2.2 Estándares de Televisión Digital Terrestre.....	18
2.2.2.2.1 Estándar ATSC	21
2.2.2.2.2 Estándar DVB-T	21
2.2.2.2.3 Estándar ISDB-T.....	22

2.2.2.2.4 Estándar ISDB-Tb.....	23
2.2.2.2.5 Estándar DTMB.....	23
2.2.3. La Televisión Digital Terrestre en el Perú.....	24
2.2.3.1 Canalización de la TDT en el Perú.....	25
2.2.3.2 Estado de la TDT en Tacna.....	26
2.2.4 Descripción del Estándar ISDB-Tb.....	27
2.2.4.1 Sistema de Transmisión.....	29
2.2.4.2 Multiplexación OFDM.....	30
2.2.4.3 Interferencia entre portadoras (ICI).....	32
2.2.4.4 Interferencia entre símbolos (ISI).....	34
2.2.4.5 Contenido del intervalo de guarda.....	36
2.2.4.6 Entrelazados de frecuencia y temporal.....	37
2.2.4.7 Modulación de portadoras.....	38
2.2.4.8 Elección de parámetros OFDM para la TDT.....	39
2.2.4.9 Determinación del número de portadoras necesarias.....	40
2.2.4.10 Generación de los símbolos OFDM.....	43
2.2.4.11 Organización del canal radioeléctrico de transmisión.....	44
2.2.4.12 Bandas de guarda.....	46
2.2.4.13 Desplazamiento de la frecuencia central del canal.....	47
2.2.4.14 Transmisión Jerárquica.....	48
2.2.4.15 Modos de transmisión entre portadoras.....	49
2.2.4.16 Parámetros básicos de ISDB-Tb.....	51
2.2.5 Red de Frecuencia Única.....	58
2.2.5.1 Tipos de Redes de Frecuencia Única.....	61
2.2.5.2 Intervalo de guarda en una red SFN.....	62
2.2.5.3 Ganancia de red.....	65
2.2.5.4 Gap Fillers o repetidores.....	67
2.2.5.4.1 Tipos de Gap Fillers.....	69
2.2.5.5 Receptores de ISDB-Tb.....	70
2.2.6 Propagación.....	74
2.2.6.1 Propagación en el espacio libre y en el entorno terrestre.....	74
2.2.6.2 Propagación por difracción.....	77

2.2.6.3 Modelos de Propagación.....	79
2.2.6.3.1 Modelo de Okumura-Hata	79
2.2.6.3.2 Modelo COST 231	80
2.2.6.3.3 Recomendación UIT-R P.1546.....	81
2.2.6.3.4 Recomendación UIT-R P.1812.....	83
2.2.6.3.5 Recomendación UIT-R P.526.....	85
2.2.7 Software de Simulación	86
2.2.7.1 Introducción	86
2.2.7.2 XIRIO Online	87
2.2.7.2.1 Proceso de simulación de propagación	88
2.2.7.2.2 Requisitos del software de simulación.....	88
2.2.7.2.3 Parametrización de estaciones	88
2.2.7.2.4 Planificación de redes	89
2.2.7.2.5 Capas de cartografía.....	89
2.2.7.2.6 Parámetros del estudio de cobertura	92
2.2.7.2.7 Ejemplo del resultado de un estudio de cobertura	96
2.3. Definición de términos	97
Capítulo III: Marco Metodológico	101
3.1. Hipótesis	101
3.1.1. Hipótesis general.....	101
3.1.2. Hipótesis específicas.....	101
3.2. Variables.....	101
3.2.1. Identificación de la variable independiente	101
3.2.1.1. Indicadores.....	101
3.2.1.2 Escala para la medición de la variable	102
3.2.2 Identificación de la variable dependiente.....	102
3.2.2.1. Indicadores.....	102
3.2.2.2 Escala para la medición de la variable	103
3.3. Tipo y Diseño de la Investigación.....	103
3.4. Nivel de Investigación	103
3.5. Ámbito y tiempo social de la Investigación	103
3.6. Población y muestra	104

3.6.1. Unidad de estudio	104
3.6.2. Población	104
3.6.3. Muestra	104
3.7. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	104
3.7.1. Técnicas de recolección de los datos.	104
3.7.2. Instrumentos para la recolección de los datos.	105
3.8. Procesamiento, presentación, análisis e interpretación de los datos..	106
Capítulo IV: Diseño de la Red de Frecuencia Única mediante simulación de cobertura.....	108
4.1. Introducción.....	108
4.2. Determinación del Modelo de Propagación para Tacna	109
4.2.1 Estudio de Campo	109
4.2.2 Estudio de Campo	111
4.2.4 Elección del modelo de propagación	134
4.3. Simulación de cobertura para Tacna utilizando XIRIO Online.....	139
4.3.1 Elección de parámetros del transmisor	140
4.3.2 Elección de parámetros del receptor.....	141
4.3.3 Elección de parámetros de cobertura	141
4.3.4 Simulación de cobertura en la ciudad de Tacna	142
4.3.5 Determinación de las zonas de sombra en la ciudad de Tacna.....	150
4.3.6 Reducción de las zonas de sombra en la ciudad de Tacna.....	151
4.3.6.1 Diseño del repetidor Gap Filler	153
4.2.6 Simulación de cobertura multitransmisor de la red SFN conformada por el Transmisor del Cerro Para y una Repetidora en el Cerro Intiorko en la ciudad de Tacna	156
Capítulo V: Análisis de resultados	162
5.1. Introducción.....	162
5.2. Comparación de las Medidas	162
Figura 101 Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto del Centro de Salud J. Velazco Alto Alianza	166
CAPÍTULO VI: Conclusiones y recomendaciones	168
6.1 CONCLUSIONES	168
6.2 RECOMENDACIONES	169

Referencias bibliográficas	170
ANEXOS	175
ANEXO 1: Especificaciones técnicas de transmisor TDT	175
ANEXO 2: Especificaciones técnicas de Gap Filler TDT.....	177
ANEXO 3: Especificaciones técnicas de Medidor de Intensidad de Campo .	179
ANEXO 4: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	182

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Frecuencias de Canales de TV Analógica que operan en el Perú</i>	14
Tabla 2 <i>Clasificación de los estándares de TDT</i>	20
Tabla 3 <i>Plazos del Plan Maestro para Implementación de la TDT en el Perú</i>	24
Tabla 4 <i>Plan de Canalización según Bandas de VHF y UHF</i>	25
Tabla 5 <i>Plan de Canalización y Asignación de Frecuencias</i>	25
Tabla 6 <i>Canales de TDT que actualmente operan en la ciudad de Tacna</i>	27
Tabla 7 <i>Normas o estándares ABNT NBR</i>	28
Tabla 8 <i>Ajuste del valor de atraso requerido como resultado del bit interleaving</i>	39
Tabla 9 <i>Parámetros del Sistema de transmisión</i>	51
Tabla 10 <i>Parámetros del segmento OFDM</i>	52
Tabla 11 <i>Parámetros de la señal de transmisión</i>	54
Tabla 12 <i>Tasas de transmisión R (en Mbps) para 13 segmentos</i>	56
Tabla 13 <i>Distancias máximas que puede recorrer la onda reflejada</i>	58
Tabla 14 <i>Distancia para diferentes modos de operación</i>	64
Tabla 15 <i>Otros datos básicos para cálculos</i>	83
Tabla 16 <i>Puntos del estudio de campo</i>	111
Tabla 17 <i>Medidas de Intensidad de Campo y Valores de estimados en simulación</i>	135
Tabla 18 <i>Diferencia entre las medidas tomadas en el estudio de campo y las medidas obtenidas mediante simulación en los tres modelos de propagación</i> ...	136
Tabla 19 <i>RMSE para Evaluación de los Modelos de Propagación</i>	138
Tabla 20 <i>Especificaciones técnicas del Gap Filler</i>	154
Tabla 21 <i>Especificaciones técnicas de la antena receptora</i>	154
Tabla 22 <i>Especificaciones técnicas de la antena transmisora</i>	155
Tabla 23 <i>Diferencia entre las medidas tomadas en el estudio de campo, la simulación del transmisor del Cerro Para y la simulación de la red SFN para el canal 24 UHF de TDT bajo la norma ISDB-Tb</i>	162

Índice de figuras

Figura 1 <i>La tecnología de la Televisión</i>	12
Figura 2 <i>Espectro de RF de un canal NTSC norma M</i>	14
Figura 3 <i>Diagrama de la transmisión de la Televisión Digital Terrestre</i>	15
Figura 4 <i>Formatos de pantalla de la TV digital</i>	17
Figura 5 <i>Mapa de Adopción de Estándares de Televisión Digital</i>	19
Figura 6 <i>Alternativas de ocupación del espectro en ISDB-Tb con MPEG-4</i>	28
Figura 7 <i>Diagrama general del sistema de transmisión ISDB-Tb</i>	29
Figura 8 <i>Diagrama en bloques del sistema de transmisión</i>	30
Figura 9 <i>Organización del canal radioeléctrico</i>	31
Figura 10 <i>Distribución de portadoras</i>	32
Figura 11 <i>Transformada de Fourier de un pulso T_U</i>	32
Figura 12 <i>Espectro de dos portadoras con separación Δf</i>	33
Figura 13 <i>Espectro de portadoras moduladas con símbolos de duración T_U</i>	34
Figura 14 <i>Señales que llegan al receptor en forma directa y reflejada</i>	35
Figura 15 <i>Inserción del intervalo de guarda</i>	36
Figura 16 <i>Formación del intervalo de guarda</i>	36
Figura 17 <i>Distribución de bits contiguos entre portadoras distantes</i>	37
Figura 18 <i>Entrelazado en frecuencia y tiempo</i>	38
Figura 19 <i>Intervalos de guarda para el mismo tiempo útil de símbolo</i>	41
Figura 20 <i>Distancia recorrida por la señal reflejada</i>	42
Figura 21 <i>Diagrama de bloques de un modulador OFDM</i>	44
Figura 22 <i>Bandas de guarda superior e inferior de un canal</i>	45
Figura 23 <i>Segmentación del canal de 6 Mhz</i>	45
Figura 24 <i>Espaciamientos en frecuencia (Mhz)</i>	46
Figura 25 <i>Canales digitales y analógicos compartiendo el espectro radioeléctrico</i>	47
Figura 26 <i>Obtención de la frecuencia central f_0</i>	48
Figura 27 <i>Organización de segmentos en 3 capas jerárquicas</i>	49
Figura 28 <i>Esquema de una red SFN</i>	59
Figura 29 <i>Señales multitrayectoria</i>	60
Figura 30 <i>Un receptor capta la señal de 2 transmisores</i>	61
Figura 31 <i>Intervalo de guarda en una red SFN</i>	62
Figura 32 <i>Posicionamiento de la ventana FFT mediante la función de autocorrelación</i>	64
Figura 33 <i>Solapamiento de áreas de cobertura de transmisores de una red SFN</i>	66
Figura 34 <i>Ganancia de red de dos transmisores simétricos</i>	66
Figura 35 <i>Representación gráfica de las Zonas de Sombra</i>	68
Figura 36 <i>Casos en que se debe utilizar Gap Fillers</i>	69
Figura 37 <i>Aislamiento entre elemento de un Gap Filler</i>	70

Figura 38 Configuración de conexión del receptor	70
Figura 39 Configuración básica del Set Top Box	72
Figura 40 Configuración básica del IRD tipo integrado (ABNT NBR-15604).....	72
Figura 41 Efecto de la Tierra en la propagación.....	76
Figura 42 Primera zona de Fresnel	77
Figura 43 Pérdidas de difracción por aristas	78
Figura 44 Parámetros del modelo Okumura-Hata	79
Figura 45 Curvas de Recomendación UIT-R P.1546-4	82
Figura 46 Modelo MDT.....	90
Figura 47 Modelo MDE	90
Figura 48 Modelo MDS.....	91
Figura 49 Menú de propiedades del estudio de cobertura.....	92
Figura 50 Menú de propiedades del transmisor	93
Figura 51 Menú de propiedades del diagrama de radiación.....	94
Figura 52 Menú de propiedades del receptor	95
Figura 53 Resultado de un estudio de cobertura para una señal de TV analógica	96
Figura 54 Mediciones de la tasa de error de bit (BER)	97
Figura 55 Definición de MER	99
Figura 56 Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación.....	106
Figura 57 Medidor de intensidad de campo HEXYLON.....	110
Figura 58 Ubicaciones de los puntos de medición.....	113
Figura 59 Ubicación del Punto1: Plaza San Martín, y perfil de elevación respectivo	113
Figura 60 Ubicación del Punto2: Plaza José Olaya, y perfil de elevación respectivo.	114
Figura 61 Ubicación del Punto3: IEI Jesús Divina Misericordia, y perfil de elevación respectivo.	115
Figura 62 Ubicación del Punto 4: Cancha 28 de Agosto, y perfil de elevación respectivo.	116
Figura 63 Ubicación del Punto 5: Terminal Collasuyo, y perfil de elevación respectivo.	117
Figura 64 Ubicación del Punto6: Centro de Salud J. Velasco, y perfil de elevación respectivo	118
Figura 65 Ubicación del Punto7: Asoc. Viv. Ramón Copaja, y perfil de elevación respectivo.	119
Figura 66 Ubicación del Punto 8: Oficina de Migraciones, y perfil de elevación respectivo.	120
Figura 67 Ubicación del Punto 9: Plaza Zela, y perfil de elevación respectivo.	121
Figura 68 Ubicación del Punto 10: Mercadillo Bolognesi, y perfil de elevación respectivo.	122
Figura 69 Ubicación del Punto 11: Asoc. Viv. F. Barreto, y perfil de elevación respectivo.	123

Figura 70 Ubicación del Punto 12: Óvalo G. Albarracín, y perfil de elevación respectivo.	124
Figura 71 Ubicación del Punto 12: Límite Pocollay y Calana, y perfil de elevación respectivo.	125
Figura 72 Ubicación del Punto 14: Restaurante El Patroncito, y perfil de elevación respectivo	127
Figura 73 Ubicación del Punto 15: Complejo Capanique – La Natividad, y perfil de elevación respectivo.	128
Figura 74 Ubicación del Punto 16: Óvalo Avenida Cusco, y perfil de elevación respectivo.	129
Figura 75 Ubicación del Punto 17: Plaza de La Bandera, y perfil de elevación respectivo.	129
Figura 76 Ubicación del Punto 18: Óvalo Ceticos Hábitat, y perfil de elevación respectivo.	130
Figura 77 Ubicación del Punto 19: Óvalo Avenida La Cultura, y perfil de elevación respectivo.	131
Figura 78 Ubicación del Punto 20: Asoc. Viv. Terminal., y perfil de elevación respectivo.	132
Figura 79 Ubicación del Punto 21: Asoc. Viv. Monterrey – Viñani, y perfil de elevación respectivo.	133
Figura 80 Propiedades del estudio de cobertura para el canal 24 de TDT en Tacna.....	142
Figura 81 Propiedades del Transmisor para el canal 24 de TDT en Tacna	143
Figura 82 Propiedades del Diagrama de Radiación canal 24 de TDT en Tacna.....	145
Figura 83 Diagrama de Radiación Horizontal canal 24 de TDT en Tacna	146
Figura 84 Parámetros de Radio de canal 24 de TDT en Tacna.....	147
Figura 85 Cálculo de estudio de canal 24 de TDT en Tacna.....	147
Figura 86 Mapa de cobertura canal 24 de TDT en Tacna.....	148
Figura 87 Zonas de sombra del canal 24 de TDT en Tacna	150
Figura 88 Zonas de sombra del canal 24 de TDT en Tacna vistas en Google Earth Pro.....	152
Figura 89 Esquema Básico de un Sistema de Transmisión – GAP FILLER.....	153
Figura 90 Diagrama de radiación de la antena transmisora	155
Figura 91 Propiedades del estudio de cobertura multitransmisor	156
Figura 92 Propiedades del transmisor del Gap Filler del Cerro Intiorko (La Cripta).....	157
Figura 93 Propiedades del Diagrama de Radiación de la antena transmisora del Gap Filler.....	159
Figura 94 Resultado de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF para la ciudad de Tacna	159
Figura 95 Resultado de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF para la ciudad de Tacna en zoom.....	160

Figura 96 <i>Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto de la Plaza José de San Martín Alto Alianza.....</i>	163
Figura 97 <i>Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto de la Plaza José Olaya Ciudad Nueva</i>	164
Figura 98 <i>Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto del IEI Jesús Misericordia limite Ciudad Nueva</i>	165
Figura 99 <i>Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto de la Cancha 28 de Agosto Ciudad Nueva</i>	165
Figura 100 <i>Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto del Terminal Collasuyo Alto Alianza</i>	166
Figura 101 <i>Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto del Centro de Salud J. Velazco Alto Alianza.....</i>	166
Figura 102 <i>Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto de la Asoc. Ramón Copaja Alto Alianza</i>	167

Resumen

El principal objetivo de esta investigación es mejorar la cobertura de una estación de televisión digital terrestre en la ciudad de Tacna, teniendo en cuenta que hay un antecedente que la televisión analógica ha tenido por muchos años problemas de cobertura en una gran parte de los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva. Por ello con el advenimiento de la Televisión Digital Terrestre se ha propuesto utilizar las ventajas en tecnología digital que permite dar cobertura a zonas denominadas de sombra mediante una red de frecuencia única que utiliza repetidores denominados Gap Filler

Este trabajo de investigación busca además demostrar que las herramientas de planificación o simulación pueden servirnos para diseñar una red de radiodifusión tal como las redes de televisión digital y además que este software puede emplearse para crear una red con varios transmisores donde las coberturas se suman para generar una ganancia de red.

Como punto importante de esta investigación se debe recalcar que no existen estudios sobre la televisión digital terrestre en nuestra ciudad, por lo que la presente investigación servirá como base para posteriores investigaciones sobre este tema muy novedoso por ser las redes SFN una tecnología de vanguardia en el ámbito de la televisión digital terrestre.

Palabras clave: Red de frecuencia única, televisión digital terrestre y Gap Filler.

Abstract

The main objective of this research is to improve the coverage of a digital terrestrial television station in the city of Tacna, taking into account that there is a history that analog television has had coverage problems for many years in a large part of the districts of Tacna. Alto de la Alianza and Ciudad Nueva. Therefore, with the advent of Digital Terrestrial Television, it has been proposed to use the advantages of digital technology that allows coverage of so-called shadow areas through a single frequency network that uses repeaters called Gap Filler.

This research work also seeks to demonstrate that planning or simulation tools can be used to design a broadcasting network such as digital television networks and also that this software can be used to create a network with several transmitters where the coverages are added to generate a network gain.

As an important point of this research, it must be emphasized that there are no studies on digital terrestrial television in our city, so this research will serve as a basis for subsequent research on this very new topic because SFN networks are a cutting-edge technology in the field. field of digital terrestrial television.

Keywords: Single frequency network, digital terrestrial television and Gap Filler.

Introducción

La Televisión abierta, como su nombre lo indica, es una tecnología de acceso libre y gratuito, a la que nos hemos acostumbrado a acceder para recibir información, entretenimiento y cultura a través de imágenes y sonido captada en nuestros televisores. En el Perú, la televisión abierta está experimentando actualmente una transformación comparable a la transición de la televisión en blanco y negro a la televisión a color; este suceso, es el paso de la televisión analógica a la televisión digital.

A nivel mundial, los países con mayor desarrollo tecnológico ya han hecho el denominado apagón analógico, que quiere decir, apagón de todos los transmisores analógicos de televisión, para utilizar solamente transmisores digitales. En nuestro país, debido a su propia naturaleza tecnológica, y a otros factores externos, la transición hacia la televisión digital se está llevando a cabo de manera lenta y el apagón analógico se está demorando.

Esta transición hacia la televisión digital abierta o como es más conocida, televisión digital terrestre, trae innovaciones tecnológicas que hacen posible solucionar defectos de la televisión analógica. La nueva tecnología trae consigo muchas mejoras en la calidad de imagen y sonido, mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico y, lo que más importa en esta investigación, el uso de redes de frecuencia única para solucionar los problemas de cobertura que presenta la televisión analógica.

Así, en la presente investigación, realizada en la ciudad de Tacna, se plantea el diseño de una red de frecuencia única (SFN) como solución al actual problema de la televisión analógica de zonas de sombra o de falta de cobertura en gran parte de los distritos de Ciudad Nueva y Alto Alianza para un transmisor de televisión

que se ubica en el Cerro Para de nuestra ciudad. Esta investigación se ha estructurado de la siguiente forma:

En el capítulo I se describe el problema de la investigación, analizando la problemática actual de la televisión abierta para un transmisor ubicado en la zona del cerro Para, además se determinan el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo, y además se indican sus alcances y limitaciones.

En el capítulo II, se revisan las investigaciones relacionadas al presente trabajo, además se determinan los fundamentos teóricos para el diseño de una red de frecuencia única de Televisión Digital Terrestre.

En el capítulo III se desarrolla el marco metodológico de la investigación, determinando la hipótesis general y las hipótesis específicas del presente trabajo. Además, se identifican las variables, tipo y nivel de investigación, y se describen las técnicas y acciones desarrolladas para la elaboración del trabajo realizado.

En el capítulo IV se presentarán los resultados de las simulaciones realizadas, antes y después del diseño de una red de frecuencia única, mostrando los indicadores de cobertura que se obtienen en ambos casos.

En el capítulo V se evalúan los resultados obtenidos a través de las simulaciones comparando con medidas de cobertura realizadas y cálculos teóricos de la cobertura.

Finalmente, en el capítulo VI se describen las conclusiones y las recomendaciones que se han obtenido en la investigación.

Capítulo I: El Problema

1.1. Planteamiento del problema

En la ciudad de Tacna, la televisión abierta aún utiliza un tipo de transmisión analógica. Hay solo algunos canales de televisión digital terrestre que están operando simultáneamente a con los canales analógicos, y todos esos canales de televisión digital pertenecen a cadenas nacionales. Las actuales estaciones de televisión se ubican en 2 zonas, claramente determinadas, como son el Cerro Intiorko y el Cerro Para.

En la zona del Cerro Para, se ubican las estaciones de América Televisión canal 9, Panamericana Televisión canal 2 y un poco más abajo ATV Sur canal 11, y además algunas estaciones de radio provenientes de Lima. En la zona del cerro Intiorko se ubican las estaciones de IRTP, Global Televisión, Frecuencia Latina, ATV, La Tele, Bethel Televisión, Exitosa TV y todos canales locales, además de varias estaciones de radio locales.

Las estaciones que están ubicadas en la zona del Cerro Para, presentan desde hace mucho tiempo el problema de brindar una mala cobertura a casi todo el distrito de Ciudad Nueva y una gran parte del distrito Alto de la Alianza debido una zona de sombra, bastante amplia, producida por el Cerro Intiorko, y lomas adyacentes, que limitan la propagación radioeléctrica de su señal de televisión. En dichas zonas, actualmente, existe una alta densidad de población por lo que es necesario buscar la solución a dicho inconveniente.

La tecnología digital aplicada a la televisión abierta puede solucionar problemas de cobertura, difíciles de solucionar con la tecnología analógica, a través de la implementación de una Red de Frecuencia Única (SFN) en aquellas zonas denominadas de sombra, con lo que un canal ubicado en el Cerro Para podrá brindar una buena calidad de servicio a toda la ciudad de Tacna, incluyendo las actuales áreas identificadas como zonas de sombra.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Interrogante principal

¿En qué medida el diseño adecuado de una Red de Frecuencia Única SFN mejorará cobertura de una estación de televisión abierta ubicada en el Cerro Para de la ciudad de Tacna?

1.2.2. Interrogantes específicas

¿Cuáles son los parámetros técnicos que se deben considerar para el diseño óptimo de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre?

¿Cuáles son los elementos o componentes de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre?

¿En qué medida un software de simulación ayuda a obtener información de las zonas de sombra de la cobertura de una estación de televisión abierta ubicada en el Cerro Para de la ciudad de Tacna?

1.3. Justificación de la investigación

La Televisión Digital Terrestre es una tecnología que se viene implementando actualmente en nuestro país, debido a la evolución natural de la televisión, por sus ventajas de mejora en la calidad de imagen y sonido.

Las redes de frecuencia única son interesantes de estudiar, debido a los beneficios que representan en función de la eficiencia del uso del espectro radioeléctrico de las estaciones de televisión terrestre y del consumo de energía de dichas estaciones.

La presente investigación se desarrolla para servir como impulso de nuevas investigaciones, en la ciudad de Tacna, sobre el tema de las nuevas tecnologías en la Televisión, como es la Televisión Digital Terrestre (TDT).

El tema de la investigación ha sido motivado, principalmente, porque una red SFN en Televisión abierta representa un avance tecnológico, a nivel global. Esta tesis busca desarrollar un trabajo de investigación aplicada.

Por otro lado, el empleo de un software de simulación profesional y adecuado a nuestro territorio permitirá abordar el problema de cobertura actual de los canales de televisión abierta ubicados en la zona del cerro Para. Así se podrá proyectar la mejora de la cobertura con una red SFN durante la implementación la Televisión Digital Terrestre, que ya se está haciendo en la ciudad de Tacna.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Diseñar una Red de Frecuencia Única (SFN) que mejore la cobertura de una estación de televisión abierta ubicada en el Cerro Para de la ciudad de Tacna.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros técnicos que se deben considerar para el diseño óptimo de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre.
- Determinar los elementos o componentes de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre.
- Simular la cobertura de una estación de televisión abierta ubicado en la zona del cerro Para de la ciudad de Tacna para obtener información de las zonas de sombra que se producen en la ciudad de Tacna.

1.5. Alcances de la investigación

En el desarrollo del presente trabajo, debo precisar los alcances de la investigación:

- Se hará un estudio de las redes de frecuencia única SFN como solución a problemas de zonas de sombra ocasionados por obstáculos naturales del terreno.
- El estudio de propagación de la señal radioeléctrica de la Televisión Digital Terrestre en la ciudad de Tacna y distritos aledaños se realizó en el periodo de abril a noviembre del año 2022.
- Se realizarán simulaciones de la cobertura de la señal de TDT para buscar posibles zonas de sombra y mediante esta información se diseñará una red SFN para brindar una solución tecnológica.

1.6. Limitaciones de la investigación

- El estudio se limitará a determinar las zonas de sombra y su solución en los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva donde ya se tiene conocimiento de estos problemas desde la transmisión de la televisión analógica.
- Se tuvo algunas limitaciones para investigar sobre la cobertura de la señal de TDT en las zonas de sombra, directamente con los televidentes debido a que recién se empezaron a poner en funcionamiento las estaciones de TDT en la ciudad de Tacna y no sabían que la TDT ya había llegado a Tacna.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Internacionales

Según Valdez (2019), en su tesis de Maestría en Sistemas y Redes de Telecomunicaciones: “Planificación de la red de televisión digital terrestre en el área de Corrientes-Resistencia” determinó la siguiente conclusión:

Del análisis de las simulaciones de cobertura en el área dada por las ciudades de Corrientes y Resistencia se concluye que, con una distribución de emplazamientos adecuados y parámetros técnicos definidos en el marco de un plan integral para el área, se puede prestar el servicio de TDT bajo la norma ISDB-Tb de manera satisfactoria y eficiente.

De acuerdo a Moreno (2019) en su Tesis de Maestría en Telecomunicaciones: “Estudio de la cobertura de la señal de TVD para las urbanizaciones de Puerto Azul y Ceibos”, llega a las siguientes conclusiones:

Del análisis del estándar de TV digital ISDBT se determinó que los principales parámetros a tener en cuenta en la determinación de los niveles de cobertura para la topología existente en la provincia del Guayas son: el intervalo de guarda, el bit rate, el FEC, MER y la potencia del transmisor. Considerando que en nuestro país se debe transmitir por un tiempo la misma programación tanto en el canal analógico como en el canal digital (simulcast), hasta que se realice el apagón analógico, se propone mantener la misma cobertura (para la provincia de Guayas), con una distribución de potencia del 70% para los paneles de polaridad horizontal y el 30% para los

paneles de polaridad vertical, lo que garantiza una buena cobertura en receptores fijos y móviles.

Para determinar la cobertura se consideró que el principal obstáculo natural que impide brindar servicio a los sectores de Los Ceibos y Urbanizaciones Vía a la costa es la elevación del Cerro San Eduardo, que se dirige en dirección norte – sur y tiene una longitud aproximada de 2.4 Km y un rango de altura entre 150 y 205 metros sobre el nivel del mar.

De las tablas de resultados de mediciones de señal Digital, se determina que: para la Zona de los Ceibos de los 6 puntos seleccionados, 3 puntos están por encima de los 51 dBuV/m y los otros 3 puntos tienen un promedio de 42,39 dBuV/m, indicando que para este sitio un 70% del total del área de análisis si se recibe señal con máxima calidad, EL OTRO 25% sí es posible recibir señal fija (modulación 64QAM) con menor calidad y el 5% la señal es defectuosa y se podría mejorar utilizando una antena exterior (de techo en la recepción), así también se pudo determinar que la señal de ONE SEG (Móvil) si se recepta en buenas condiciones (Modulación QPSK).

López (2018) en su Tesis de Magister en Telecomunicaciones “Simulación y Corrección de Zonas de Sombra para Estaciones de Televisión Digital Terrestre en la Ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay, Ecuador”, llegó a las siguientes conclusiones:

La utilización de reemisores de señal o Gap Fillers es una solución sumamente adecuada para el reúso de frecuencias en una red SFN debido a que se permite ampliar áreas de cobertura produciendo bajas interferencias cocanal. Adicionalmente el estándar ISDB-Tb presenta características de robustez frente a Interferencias Inter Símbolo (ISI) utilizando para ello tiempos de guarda en diferentes modos.

El software de predicción de cobertura ICS TELECOM versión 13.2.3 es una herramienta sumamente poderosa que permite realizar planificaciones de sistemas de Televisión Digital Terrestre a través del uso de modelos

digitales de terrenos, causa de atenuaciones, capas de edificios, búsqueda de mejores emplazamientos para la transmisión, análisis del sistema y comportamientos. Adicionalmente la herramienta Antios permitió la construcción de arreglos de antenas compuestos donde se pudo modificar las características técnicas de cada uno de los elementos y como resultado obtener un patrón de radiación que permitió ser utilizado en ICS TELECOM versión 13.2.3 para las simulaciones de la estación Hito Cruz y los Gap Fillers implementados.

En Cuenca se determinaron 7 zonas de sombra donde el uso de reemisores de señal o Gap Filler pudo eliminar satisfactoriamente estos problemas de señal, sin embargo, existen zonas geográficas que por sus características geográficas son sitios donde la degradación de la señal es muy grande y no permite un nivel de campo eléctrico adecuado como son quebradas principalmente. Para la octava zona analizada que se consideró en aquellos lugares con niveles inferiores a 51 dBuV/m dentro del centro de la ciudad de Cuenca, se recomendó el uso de antenas exteriores determinando un mejoramiento en el nivel de campo eléctrico a receptor.

Jácome (2018) en su Tesis para la obtención del grado de Magister en Sistemas de Telecomunicaciones “Análisis de Modelos de Propagación para Televisión Digital Terrestre (TDT) bajo el Estándar ISDB-Tb en las ciudades de Ambato y Latacunga del Ecuador”, llegó a las siguientes conclusiones:

Para la planificación de redes, de las ciudades de Ambato y Latacunga en donde su zona geográfica y topográfica es muy similar por encontrarse no muy distantes una de la otra, y por encontrarse en la región centro del Ecuador el modelo de propagación que mejor se ajusta a las condiciones mencionada es el ITU-R 525/526.

Las condiciones de propagación de TDT para los canales de televisión que operan en las ciudades de Latacunga y Ambato, son similares; debido a que cada ciudad tiene edificaciones que se concentran en la cabecera cantonal

de la ciudad y es donde la señal llega con menor potencia que las zonas periféricas donde el escenario es, al contrario.

El utilizar el modelo de propagación adecuado, nos permitirá ahorrarnos tiempo, trabajo y dinero.

Para determinar el modelo de propagación para TDT en las dos ciudades fue fundamental realizar el análisis comparativo de las medidas que fueron tomadas con las medidas simuladas, este análisis permitió determinar qué modelo se ajusta a lo requerido.

Según Aguirre y Benítez (2016) en su Trabajo de Titulación para la obtención del grado de Magister en Telecomunicaciones, “Diseño de una Red de Frecuencia Única (R.F.U.) para operación de un Canal de Televisión UHF en la Ciudad de Guayaquil”, llegaron a las siguientes conclusiones:

Gracias a las mediciones de campo realizadas en los 24 puntos de medición, se ha podido analizar el comportamiento de la señal del canal 25 de televisión digital terrestre, lo cual facilitó las pautas para establecer la ubicación y el equipamiento necesario (Gap Fillers), de tal manera que podamos mejorar la calidad de la transmisión de la señal en el aspecto de cobertura.

Del análisis realizado en el presente trabajo se ha podido concluir, que dentro de la parte urbana de la ciudad de Guayaquil se ha encontrado la existencia de 8 zonas de sombras, formadas por la baja calidad en la recepción de la señal de televisión digital terrestre, considerando las mediciones realizadas al canal 25 UHF.

Se ha podido determinar que, para cubrir las zonas de sombras existente en la ciudad de Guayaquil, es necesario colocar 4 Gap Fillers distribuidos en los puntos mencionados en el trabajo con una Potencia de 250W y una ganancia de 9dBi, así como utilizar un tipo de red de Redistribución considerando la línea de vista existente entre el Transmisor ubicado en cerro del Carmen y cada uno de los Gap Fillers.

Finalmente se puede concluir que el diseño de red presentado en el proyecto, es factible desde el punto de vista técnico y económico, considerando que se va a poder mejorar considerablemente la cobertura de la señal dentro de la ciudad de Guayaquil, sin la necesidad de concesionar una nueva frecuencia, lo que a su vez conlleva a hacer más atractivo pautar para dicho canal de televisión, puesto que la penetración del servicio sería mucho más amplia.

2.1.2. Nacionales

Según Gonzáles y Quiroz (2019), en el desarrollo de su investigación denominada “Diseño del sistema de transmisión en base al estándar ISDB-T, para la óptima migración de televisión Analógica a Digital Terrestre en la estación Radiodifusora Sony TV-canal 33. Chiclayo - Lambayeque”, hace una descripción de sus consideraciones para diseñar un sistema de de TDT para la Radiodifusora Sony TV y llega a la siguiente conclusión:

Mediante los cálculos matemáticos y el software XIRIO-ONLINE, se obtienen resultados factibles y óptimos de cobertura de acuerdo a las localidades que pertenecen a su canalización.

Según Bravo (2013), en el desarrollo de su informe de suficiencia denominada “Diseño de una Red de Repetidoras de Televisión Digital Terrestre (TDT) para cubrir Lima y zonas periféricas”, hace un detalle de los parámetros necesarios para la operación de una red SFN y se muestra un ejemplo de aplicación de una Red SFN para una estación ubicada en el Morro Solar desde donde se cubrirán las zonas más importantes alrededor de la ciudad de Lima, llegando a las siguientes conclusiones:

De los resultados obtenidos en el caso de la repetidora SFN de Comas se observa que el retardo entre las señales del Morro Solar y la del cerro Shangrila es menor que el intervalo de guarda de la modulación OFDM en el área de estudio, por lo que se comprueba las ventajas de implementar la repetidora en SFN.

En las zonas de repetición que se encuentran sin línea de vista al Morro no es tan crítico el ajuste del retardo, ya que no hay traslape entre las señales, con lo cual puede ahorrarse la sincronización por GPS.

Es necesario en estas zonas el empleo de antenas exteriores de regular ganancia y en algunos casos con amplificadores de señal o boosters.

Las repetidoras en isofrecuencia representan la alternativa más económica y adecuada para dar cobertura a las zonas de Lima Metropolitana, independientemente de lo complicada que pueda ser su topografía.

2.2. Bases teóricas

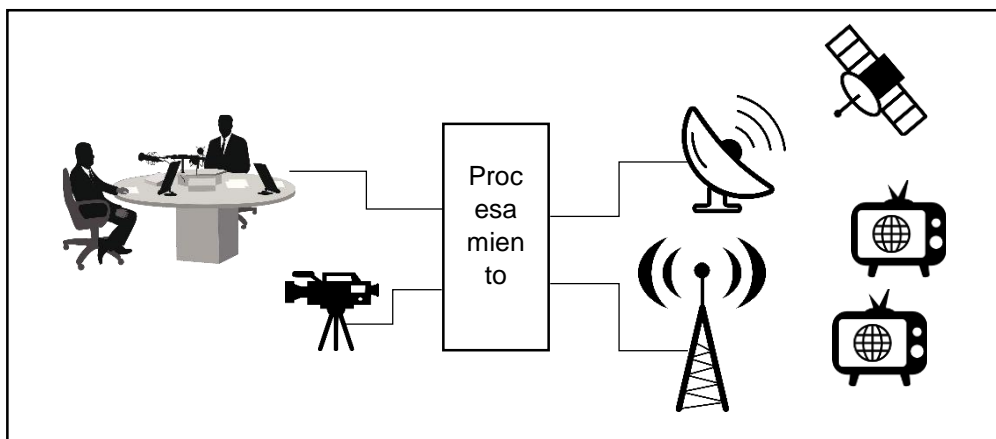
2.2.1. Concepto de Televisión

La Televisión es la tecnología que nos permite transmitir información de imágenes en movimiento, acompañadas de sonido, hacia un receptor ubicado a cierta distancia.

Para que se pueda transmitir la información de imágenes y el sonido, primero deben ser transformadas en señales eléctricas: vídeo y audio, respectivamente. Estas señales se procesan en forma individual o conjunta para poder ser transmitidas, dependiendo de la tecnología que se use.

Figura 1

La tecnología de la Televisión



Nota. Elaboración propia.

2.2.1.1 Televisión Analógica

La Televisión Analógica Terrestre, transmite las señales de vídeo y de audio procesadas de manera separada: el vídeo se modula en amplitud y el audio se modula en frecuencia, luego se juntan en una sola línea de radiofrecuencia y se transmiten al aire a través de antenas.

Inicialmente la televisión se transmitió en blanco y negro, llevando solamente la información del brillo de las imágenes, luego se agregó color a esas imágenes y se establecieron 3 sistemas o estándares de televisión a color en el mundo: el NTSC en EE.UU., el PAL y el SECAM en Europa.

Los 3 estándares de televisión fueron adoptados por los diversos países a nivel mundial:

- NTSC (National Television Standard Committee) en Estados Unidos, Japón y muchos países en América (del norte, centro y sur).
- PAL (Phase Alternating Line) desarrollado en Alemania, y adoptado por la mayoría de países de Europa, Asia y África.
- SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire) desarrollado en Francia y que se extendió a los países de Europa de la órbita socialista (URSS) y algunos países africanos, inclusive llegó a la Guyana francesa en Sudamérica.

Cada sistema de televisión analógica tenía su propia normatividad técnica, que los diferenciaba, pero era la forma en que se procesaba el color, la diferencia fundamental. El ancho de banda que utilizaron los tres sistemas, podía ser el mismo, pero dependía del país donde fue adoptado, pudiendo ser de 6, 7 u 8 Mhz. En esta técnica de transmisión solo se podía emitir en una ciudad con un solo transmisor, utilizando repetidores, pero para otras ciudades.

En el Perú se adoptó el estándar NTSC, Norma M o americana, de 525 líneas y ancho de banda de 6 MHz, operando inicialmente en la banda VHF del espectro y luego, en el nuevo milenio, se utilizaron también las frecuencias de la banda UHF.

Tabla 1

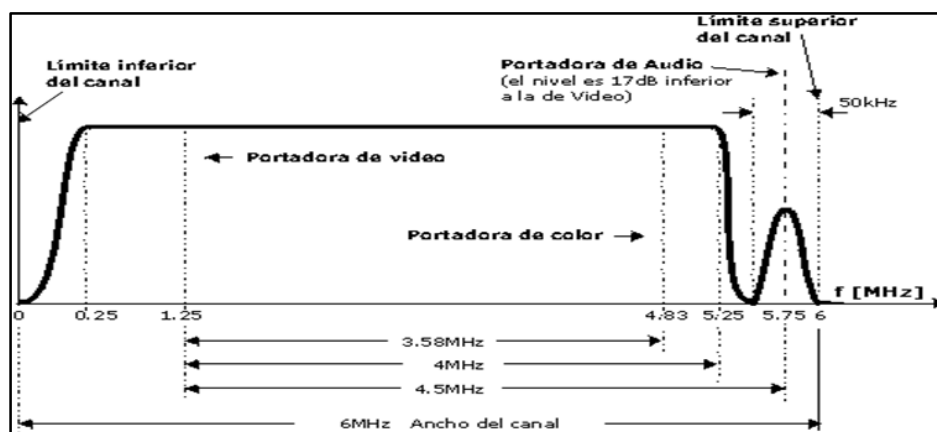
Frecuencias de Canales de TV Analógica que operan en el Perú

Banda	Sub Banda	Frecuencias en MHz	Canales
VHF	Banda I	54 a 88	2 a 6
	Banda III	174 a 216	7 a 13
UHF	Banda IV	470 a 584	14 a 32
	Banda V	584 a 746	33 a 59

Nota. Elaboración propia.

Figura 2

Espectro de RF de un canal NTSC norma M



Nota. Recuperado de: <https://247tecno.com/ancho-de-banda-senal-o-canal/>

2.2.1.2 Televisión Digital

El término de televisión digital se refiere al uso de los nuevos avances en las técnicas digitales de telecomunicaciones aplicados a la transmisión de imágenes y sonido. Estas nuevas técnicas han conseguido que se pueda transmitir imágenes con mayor resolución y un sonido con mayor calidad en comparación con las técnicas analógicas.

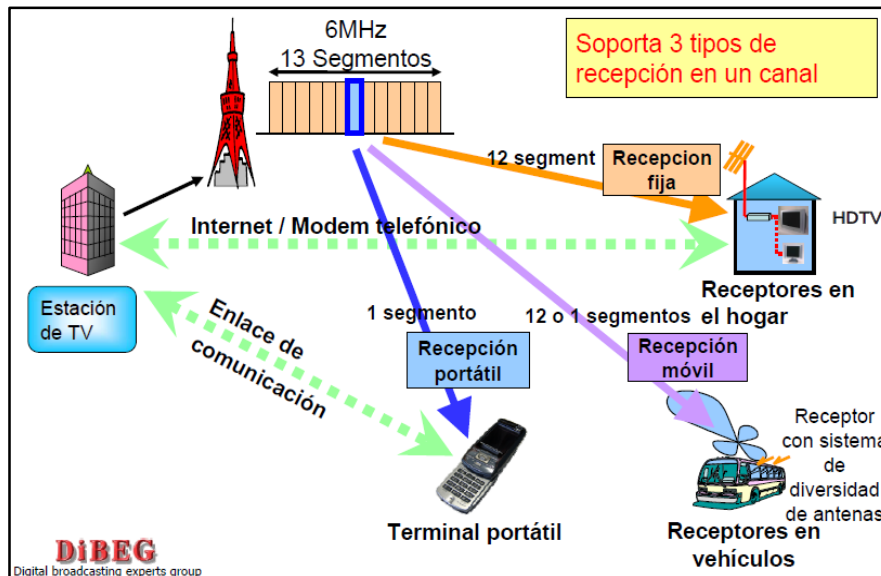
2.2.2. Televisión Digital Terrestre

La Televisión Digital Terrestre es la nueva tecnología de transmisión de imágenes y sonido, pero convertidos en datos, a través de las ondas radioeléctricas terrestres que viajan por el aire y que permite recibir señales de las operadoras con una mejor calidad en los receptores domésticos de televisión digital actuales, dispositivos móviles y portátiles; y, además, utilizar de manera más adecuada el espectro radioeléctrico. (Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013)

En la figura 3 se muestra un diagrama de la transmisión de una estación de Televisión Digital Terrestre (TDT) donde se muestran las diferentes posibilidades de recepción de la señal transmitida desde una antena ubicada en un lugar de altura apropiada para cubrir una ciudad. Además, se pueden apreciar los diversos tipos de contenidos que se pueden transmitir mediante esta tecnología de acuerdo a los tipos de receptores.

Figura 3

Diagrama de la transmisión de la Televisión Digital Terrestre



Nota. Recuperado de DIBEG, 2009.

2.2.2.1 Ventajas de la Televisión Digital Terrestre

La Televisión Digital Terrestre al ser una forma de transmisión digital presenta varias ventajas con respecto a la televisión analógica:

- a) **Mejor calidad de imagen y sonido:** La televisión digital terrestre permite apreciar imágenes y sonido con mejor calidad que las de la televisión analógica terrestre. La calidad de la imagen o vídeo es mejor debido a su mayor resolución llegando a formatos HD o Full HD, cuyos formatos de pantalla brindan una mejor apreciación de los detalles de las imágenes. El sonido o audio se puede escuchar con una calidad comparable al sonido de CD o mp3, permitiendo inclusive, sonido envolvente 5.1 o hasta 6.1.

Los formatos de vídeo que pueden transmitirse mediante la televisión digital terrestre son:

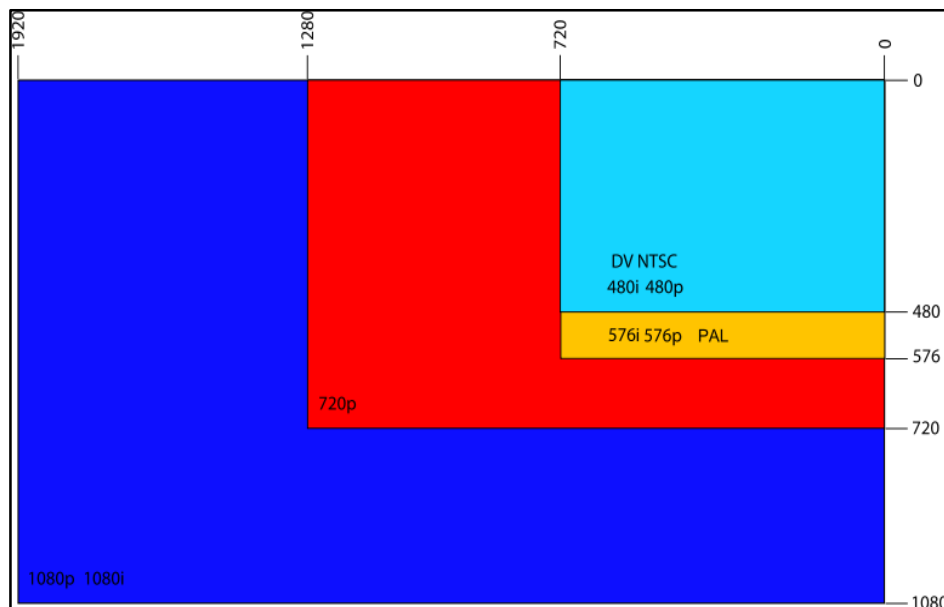
- LDTV (Low Definition Television), que presenta un tamaño reducido útil para dispositivos móviles. El tamaño del vídeo es 320 por 240 pixeles.

- SDTV (Standard Definition Television), que es el formato de la televisión analógica actual en 720 por 480 píxeles para NTSC o de 720 por 576 píxeles para PAL.
- EDTV (Enhanced Definition Television), es un formato superior al SDTV, pero no llega a tener la misma resolución que el HDTV. Su tamaño es 1280 por 720 píxeles.
- HDTV (High Definition Television), es el formato más grande que puede presentar la TDT. Su tamaño es 1920 por 1080 píxeles.

En la figura 4 se pueden apreciar los tamaños de los diferentes formatos de televisión digital terrestre.

Figura 4

Formatos de pantalla de la TV digital



Nota. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/EDTV>

- b) **Uso eficiente del espectro radioeléctrico:** Permite hacer un uso eficiente del espectro radioeléctrico debido a que es posible transmitir varios canales con contenido distinto dentro del mismo ancho de banda que el usado en un canal de televisión analógica actual. Además, es

posible transmitir un canal digital de maneja adyacente a un canal analógico o digital sin causar interferencias, por lo cual no se incrementa el uso del espectro de la banda UHF por el funcionamiento de las estaciones de TDT nuevas.

- c) **Mejora de la cobertura:** Es posible implementar redes de frecuencia única SFN para mejorar la cobertura de una estación de televisión digital terrestre, usando una misma frecuencia en el transmisor principal y en los auxiliares. Con el uso de una única frecuencia en la red de televisión digital terrestre se logra mantener la eficiencia del uso del espectro.
- d) **Multicasting:** Es posible transmitir señales con contenidos distintos en un mismo canal. Esto es denominado multiprogramación o “multicasting”. Esto quiere decir que la TDT hace posible transmitir varias señales de televisión en el mismo canal, en vez de una sola como en la televisión analógica.
- e) **Alta inmunidad al ruido e interferencia:** La TDT usa diversas técnicas digitales de protección del flujo de datos, identificados generalmente como FEC (Forward Error Correction) logrando transmitir mayor cantidad de información.
- f) **Interactividad:** Hace posible la interactividad entre el televidente y la estación de televisión a través de la misma señal transmitida, sin que se necesite algún tipo de dispositivo o conexión adicional en el receptor, o también mediante una conexión de internet. Para que exista esa interactividad es necesario que el operador de televisión incluya información adicional en su señal y también que los receptores posean la capacidad tecnológica para desarrollar esa interactividad.

2.2.2.2 Estándares de Televisión Digital Terrestre

Un estándar es una norma o conjunto de recomendaciones técnicas que se establecen por acuerdos internacionales entre países y fabricantes de equipos. En Televisión Digital Terrestre, estos estándares definen las características técnicas de

los transmisores, receptores, decodificadores y demás equipamiento necesario para el desarrollo de la televisión digital terrestre alrededor del mundo.

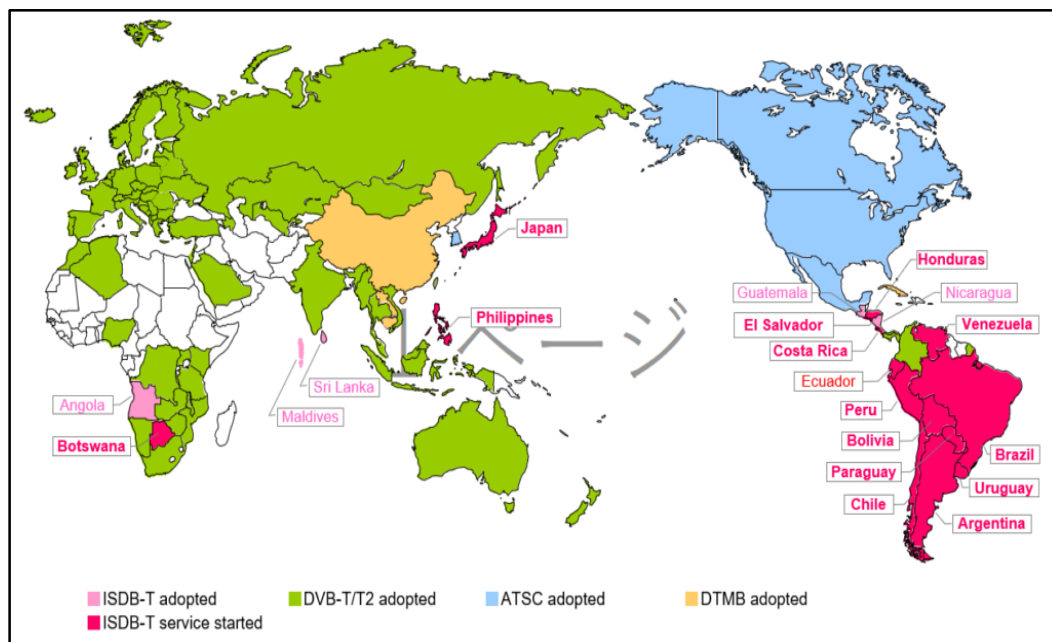
Los países adoptan alguno de los estándares existentes según criterios acordes a su realidad y necesidades. Estos estándares son los siguientes:

- Estándar ATSC (Advanced Television System Committee) de Estados Unidos.
- Estándar DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) de Europa.
- Estándar ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial) de en Japón.
- Estándar ISDB-Tb (Integrated Service Digital Broadcasting Terrestrial, Brazilian version) de Brasil, el cual es una modificación del estándar japonés.
- Estándar DTMB (Digital Terrestrial multimedia Broadcasting) de China.

En la figura 5 se muestra un mapa del mundo donde se indica, en colores, la adopción de los estándares en diversos países. En este mapa se muestra la distribución de los estándares mediante colores indicados en la leyenda de la parte baja del mapa, la adopción de los estándares. En verde están coloreados los países que adoptaron el estándar DVB-T/DVB-T2, en celeste los países que adoptaron el estándar ATSC, en amarillo los que adoptaron el estándar DMBT y en verde, los que adoptaron el estándar ISDB-T/ISDB-Tb nos muestra que hay una gran proporción de países de Sudamérica y América Central. Por supuesto, Japón, Filipinas en Asia y Angola y Botswana en el continente africano.

Figura 5

Mapa de Adopción de Estándares de Televisión Digital



Nota. Recuperado de <https://www.dibeg.org/world/> (2022)

Se puede hacer una clasificación de los estándares teniendo en cuenta el número de portadoras que usan para transmitir los datos que contienen la información de un canal de televisión. (Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013)

La Tabla 2 presenta esta clasificación.

Tabla 2

Clasificación de los estándares de TDT

Clasificación	Estándar	Características
Una portadora	ATSC	Usa una sola portadora modulada en banda lateral vestigial denominada 8-VSB.
Miles de portadoras	Banda No segmentada DVB-T DTMB	Usa miles de portadoras, pero usando todo al ancho de banda del canal radioeléctrico.
	Banda segmentada ISDB-T ISDB-Tb	Usa miles de portadoras, pero divididas en 13 segmentos que cubren todo el canal radioeléctrico.

Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

2.2.2.2.1 Estándar ATSC

También denominado ATSC Forum (Advanced Television System Committee), es el estándar de televisión digital terrestre que se originó en Estados Unidos en 1995, y que adoptaron otros países como Canadá, México, República Dominicana, El Salvador, Honduras y Corea del Sur.

Este estándar utiliza MPEG-2 para compresión de imagen y sonido con un formato de audio denominado Dolby Digital AC-3. Originalmente fue diseñado para transmitir una señal HDTV en un canal de 6 Mhz, pero también puede transmitir varias señales con definición SDTV a una tasa alrededor de 19 Mbps y usar canales de 7 u 8 Mhz.

Una característica que lo diferencia es que para la transmisión de RF utiliza modulación 8-VSB y 16-VSB (Vestigial Side Band). Desde el 2017 este estándar que pasó a denominarse ATSC 1.0 sufrió una evolución tecnológica, dando paso al ATSC 3.0 con varias mejoras tecnológicas.

2.2.2.2.2 Estándar DVB-T

Este estándar DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) fue desarrollado en 1997 en Europa (aunque como estándar DVB fue creado en 1990) y ha sido adoptado por casi todos los países de ese continente además de Oceanía, una mayoría de países de África y Asia. En América, Colombia adoptó este estándar, además Panamá y Groenlandia, siendo el estándar que mayor adopción tiene en el mundo.

El DVB-T es un estándar diseñado para operar frente a condiciones adversas como ruido y propagación multitrayectoria, además es posible utilizar redes de frecuencia única SFN para mejorar la cobertura de la señal transmitida. (Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013)

Este sistema fue diseñado para operar en un canal de 6, 7 u 8 Mhz y transporta los datos dentro del ancho de banda del canal mediante la modulación de

miles de portadoras usando la Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada (COFDM). Para la modulación de las portadoras utiliza las técnicas de QPSK, 16-QAM y 64-QAM. Posee gran capacidad de transmisión alcanzando hasta 23,7 Mbps para un canal de 6 Mhz. Desde el 2008 se desarrolló una versión nueva de este estándar denominado DVB-T2. En cuanto a la codificación de audio y video puede utilizar MPEG-2 y MPEG-4.

2.2.2.2.3 Estándar ISDB-T

El ISDB-T (Servicios Integrados de Radiodifusión Digital - Terrestre) es un estándar de televisión digital que se estandarizó en la Asociación de Industrias y Negocios de Radio (ARIB) en Japón, que comenzó a emitirse oficialmente en ese país en el 2003. Al igual que DVB-T, utiliza un método de modulación multiportadoras, pero en un esquema de transmisión segmentado que se denominada BST OFDM o Transmisión Segmentada de Banda OFDM, lo que le permite transmitir varias señales en formatos HD, SD o LD.

El estándar japonés fue creado para usar canales de 6 Mhz, pero también puede operar con 7 u 8 Mhz. Mediante la transmisión BST-OFDM se establece una división del canal en 13 segmentos, donde cada uno de ellos puede manejar un tipo diferente de modulación QPSK, DQPSK, 16-QAM y 64-QAM. Debido a este esquema segmentado puede transmitir programación para dispositivos móviles y portátiles utilizando el denominado segmento “One seg”.

El ISDB-T usa codificación MPEG-2 para el video y MPEG-2 ACC para el audio.

Este estándar puede hacer una transmisión denominada jerárquica en capas A, B y C que se usan para transmitir diferente información de un canal de TV digital utilizando uno o más segmentos para transmitir una señal diferente, con diferentes parámetros inclusive. (Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013).

Al igual que el DVB-T fue desarrollado para operar en entornos difíciles como ocurre en nuestro país, además de que permite mejorar el área de cobertura de su señal RF mediante redes de frecuencia única SFN.

2.2.2.2.4 Estándar ISDB-Tb

El ISDB-Tb (Servicios Integrados de Radiodifusión Digital – Terrestre versión brasileña) es un estándar que nació de una modificación que se hizo en Brasil al estándar japonés ISDB-T mediante una alianza entre gobiernos para difundir el estándar en toda la región. Oficialmente fue adoptado por Brasil en el 2006 como ISDB-T Internacional. El organismo encargado de la normatividad de este estándar en Brasil es la ABNT (Asociación Brasileña de Normas Técnicas).

Este estándar japonés-brasileño ha sido adoptado por el mayor porcentaje de países de Sudamérica como Perú, Argentina, Chile, Ecuador, Bolivia, Uruguay, y Paraguay debido a la influencia de Brasil en esta región. Más adelante se describirá este estándar, ya que es el que se utilizará en esta investigación, por ser el que opera en el Perú.

2.2.2.2.5 Estándar DTMB

El DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting) es un estándar de televisión digital que se estandarizó en China, que se oficializó en ese país en el 2007 para transmitirse en canales de 8 Mhz, pero que también puede operar en 7 u 8 Mhz. Es un estándar para alta definición, que la igual que el ISDB-T puede transmitir varias señales o programas incluyendo señales para dispositivos portátiles y móviles.

El estándar chino fue adoptado también en Cuba, además de China, por supuesto. Presenta una alta capacidad de transmisión de datos que llega a 22 Mbps en un canal de 6 Mhz, utilizando un esquema de multiplexación denominado TDS-COFDM (Time Domain Synchronous-Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). (2013, Pisciotta, Liendo & Lauro).

2.2.3. La Televisión Digital Terrestre en el Perú

En el año 2007 estado peruano creó la comisión encargada de escoger el estándar de Televisión Digital Terrestre. Se analizaron y realizaron pruebas con los 4 estándares internacionales que había en ese momento: DVB-T, ATSC, ISDB-T y DMB-T.

En abril del 2009, el MTC aprobó adoptar el Estándar ISDB-T con las mejoras tecnológicas que hubiera en el momento de su implementación. Es decir, se aprobó el estándar japonés mejorado en Brasil, ISDB-Tb el cual también han adoptado la mayoría de países de Sudamérica como Brasil, por ser el país donde se desarrolló, Argentina, Chile, Paraguay, Bolivia, Venezuela, Ecuador y Uruguay.

En marzo del 2010 el MTC aprobó el Plan Maestro para la implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Perú en el cual se establece las medidas normativas para la transición de la televisión analógica a la televisión digital terrestre de manera progresiva.

En lo concerniente a la localidad de Tacna, se estableció que está incluida en el Territorio 3 para la implementación de la TDT en el Perú. Para el territorio 3, inicialmente, se estableció que el plazo máximo para el inicio de las transmisiones con tecnología digital era el IV Trimestre del 2018, pero cada año, mediante otras resoluciones, se fue ampliando hasta este IV Trimestre del 2022.

La última resolución del plan maestro fue el Decreto Supremo N° 020-2022-MTC. En la Tabla 3 se muestran los plazos establecidos por dicha resolución.

Tabla 3

Plazos del Plan Maestro para Implementación de la TDT en el Perú

Número de territorio	Plazo máximo de aprobación de Plan de Canalización y Asignación de Frecuencias	Plazo máximo de inicio de transmisión digital	
		Transmisión Simultánea	Transición Directa
01	II Trimestre 2010	IV Trimestre 2015	IV Trimestre 2021
02	I Trimestre 2011	II Trimestre 2018	Plazos establecidos
03	IV Trimestre 2011	IV Trimestre	mediante

04	I Trimestre 2013	2022 IV Trimestre 2023	resolución ministerial.
05	I Trimestre 2013	IV Trimestre 2024	

Nota. Recuperado de Normas Legales de Diario El Peruano, 2022.

2.2.3.1 Canalización de la TDT en el Perú

En el Perú, el espectro radioeléctrico es administrado por el MTC, ministerio que se encarga de dar las normas sobre esta área de las telecomunicaciones. Desde el 2005 se fueron dando resoluciones sobre la TDT. El Plan Nacional de Atribución de Frecuencias ha establecido la banda UHF del espectro radioeléctrico para la TDT en 2 bandas, tal como se muestra en la tabla 4, comparando con las bandas de VHF.

Tabla 4

Plan de Canalización según Bandas de VHF y UHF

Banda (Mhz)	Canales	Banda de frecuencias (Mhz)	Denominación
VHF de 30 a 300	2 - 4	54 - 72	Banda I
	4 - 6	76 - 88	
	7 - 13	174 - 216	Banda III
UHF de 300 a 3000	14 - 32	470 - 584	Banda IV
	33 - 36	584 - 608	
	38 - 51	614 - 698	Banda V

Nota. Elaboración propia.

La canalización de la TDT para todo el Perú se ha establecido como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Plan de Canalización y Asignación de Frecuencias

Canal	Norma	Rango de frecuencias (Mhz)	Frecuencia central (Mhz)
15	ISDB-T	476 - 482	479 + 1/7
16	ISDB-T	482 - 488	485 + 1/7

17	ISDB-T	488	-	494	491 + 1/7
18	ISDB-T	494	-	500	497 + 1/7
19	ISDB-T	500	-	506	503 + 1/7
20	ISDB-T	506	-	512	509 + 1/7
21	ISDB-T	512	-	518	515 + 1/7
22	ISDB-T	518	-	524	521 + 1/7
23	ISDB-T	524	-	530	527 + 1/7
24	ISDB-T	530	-	536	533 + 1/7
25	ISDB-T	536	-	542	539 + 1/7
26	ISDB-T	542	-	548	545 + 1/7
27	ISDB-T	548	-	554	551 + 1/7
28	ISDB-T	554	-	560	557 + 1/7
29	ISDB-T	560	-	566	563 + 1/7
30	ISDB-T	566	-	572	569 + 1/7
31	ISDB-T	572	-	578	575 + 1/7
32	ISDB-T	578	-	584	581 + 1/7
33	ISDB-T	584	-	590	587 + 1/7
34	ISDB-T	590	-	596	593 + 1/7
35	ISDB-T	596	-	602	599 + 1/7
36	ISDB-T	602	-	608	605 + 1/7
38	ISDB-T	614	-	620	617 + 1/7
39	ISDB-T	620	-	626	623 + 1/7
40	ISDB-T	626	-	632	629 + 1/7
41	ISDB-T	632	-	638	635 + 1/7
42	ISDB-T	638	-	644	641 + 1/7
43	ISDB-T	644	-	650	647 + 1/7
44	ISDB-T	650	-	656	653 + 1/7
45	ISDB-T	656	-	662	659 + 1/7
46	ISDB-T	662	-	668	665 + 1/7
47	ISDB-T	668	-	674	671 + 1/7
48	ISDB-T	674	-	680	677 + 1/7
49	ISDB-T	680	-	686	683 + 1/7
50	ISDB-T	686	-	692	689 + 1/7
51	ISDB-T	692	-	698	695 + 1/7

Nota. Elaboración propia.

2.2.3.2 Estado de la TDT en Tacna

El plan de canalización para la TDT para Tacna se aprobó R.V.M. N° 1059-2011-MTC/03 con los mismos canales que se muestran en la tabla 4. Cabe señalar que este plan de canalización se utiliza en todas las ciudades capitales de región donde se está desplegando la televisión digital.

Actualmente en la ciudad de Tacna, que incluye Tacna Cercado, y los distritos de Gregorio Albarracín, Ciudad Nueva, Alto Alianza, Pocollay e inclusive Calana, sólo están operando algunos canales de televisión digital terrestre, todos ellos son de cadenas nacionales provenientes de Lima o de Arequipa.

En la Tabla 6 se indican los canales de TDT que operan en Tacna.

Tabla 6

Canales de TDT que actualmente operan en la ciudad de Tacna

Canal	Canal Virtual	Razón Social
16	7.1	I.R.T.P.
18	18.1	Andina de Radiodifusión S.A.C.
20	13.1 o 20.1	Compañía Latinoamericana de Radiodifusión S.A.
22	5.1	Empresa Radiodifusora 1160 S.A.
24	9.1	Compañía Peruana De Radiodifusión S.A.
26	2.1	Panamericana Televisión S.A.
32	11.1	Televisión Nacional Peruana S.A.C.
33	33.1	Alliance S.A.C.

Nota. Elaboración propia.

2.2.4 Descripción del Estándar ISDB-Tb

El estándar ISDB-Tb (Integrated Service Digital Broadcasting Terrestrial, Brazilian version) o Servicios Integrados de Radiodifusión Digital Terrestre versión brasileña, también denominado SBTVD (Sistema Brasileiro de Televisão Digital) o Sistema Brasileño de Televisión Digital es un estándar de televisión digital terrestre, basado en el sistema japonés ISDB-T, que debido a la influencia tecnológica brasileña en la región, ha sido adoptado por la mayoría de países de América del Sur, incluido el Perú.

En Brasil, la Agencia Nacional de Telecomunicaciones (ANATEL), desarrolló una normatividad denominada ABNT NBR que permite comprender el funcionamiento técnico del sistema ISDB-Tb. Estas normas o estándares están resumidas en la Tabla 7:

Tabla 7*Normas o estándares ABNT NBR*

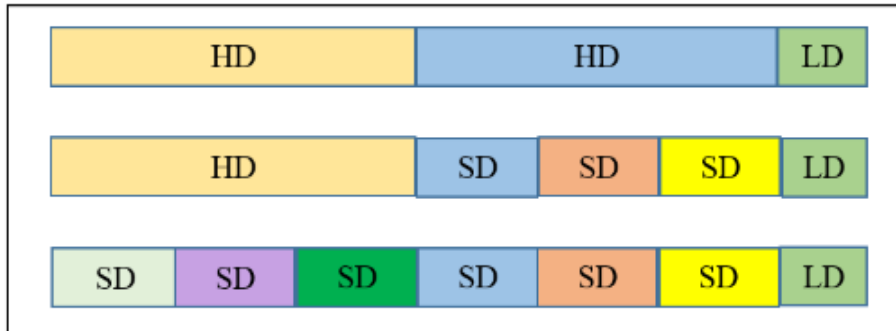
Norma	Descripción
ABNT NBR 15601	Sistema de Transmisión
ABNT NBR 15602	Codificación de vídeo, audio y multiplexación
ABNT NBR 15603	Multiplexación y servicios de información (SI)
ABNT NBR 15604	Receptores
ABNT NBR 15605	Tópicos de Seguridad
ABNT NBR 15606	Codificación de datos y especificaciones de transmisión para radiodifusión digital
ABNT NBR 15607	Canal de interactividad
ABNT NBR 15608	Guía de operación
ABNT NBR 15609	Conjunto de pruebas de Middleware
ABNT NBR 15610	Accesibilidad

Nota. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/ABNT_NBR_15601

El ISDB-Tb se diferencia del estándar japonés en algunas características tales como:

- Para televisión fija, utiliza compresión MPEG-4 AVC, Rec. UIT-T H.264, para video, y compresión AAC y HE-AAC para audio.
- Debido al nuevo tipo de compresión de video y audio, es posible la transmisión simultánea de hasta 6 canales SDTV o 2 canales HDTV. También se pueden combinar 1 canal HDTV con 3 canales SDTV, entendiéndose que además se podría transmitir o no, un canal para dispositivos portátiles o móviles utilizando el segmento “one seg”.
- Presenta 30 cuadros por segundo, para dispositivos portátiles y móviles.
- Tiene un sistema intermediario Middleware denominado Ginga que es un software instalado en el receptor (generalmente un Set Top Box) que permite la interacción entre el usuario y los datos que el operador de televisión envía a través del canal de datos.

Figura 6*Alternativas de ocupación del espectro en ISDB-Tb con MPEG-4*



Nota. Elaboración propia.

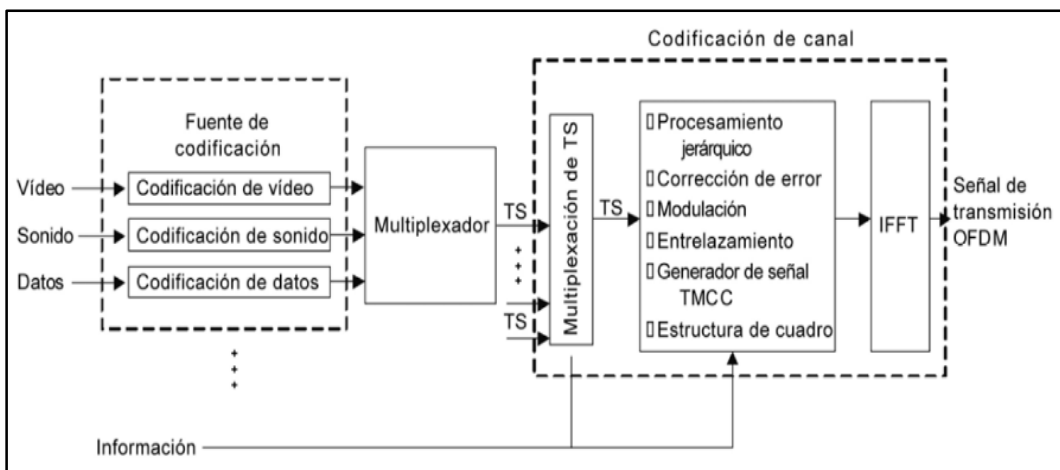
En todas las demás características y parámetros técnicos, el ISDB-Tb es igual o muy similar al estándar japonés ISDB-T.

2.2.4.1 Sistema de Transmisión

En la figura 7 se aprecia un diagrama de bloques del sistema de transmisión ISDB-Tb donde las señales de video sonido y datos son primeramente comprimidas y codificadas, para luego ser multiplexadas generando la trama de transporte Transport Stream (TS), la que luego vuelve a ser multiplexada o remultiplexada y codificada a nivel de canal donde se realiza el proceso de jerarquización, corrección de error, etc.

Figura 7

Diagrama general del sistema de transmisión ISDB-Tb



Nota. Recuperado de ABNT NBR 15601, 2007

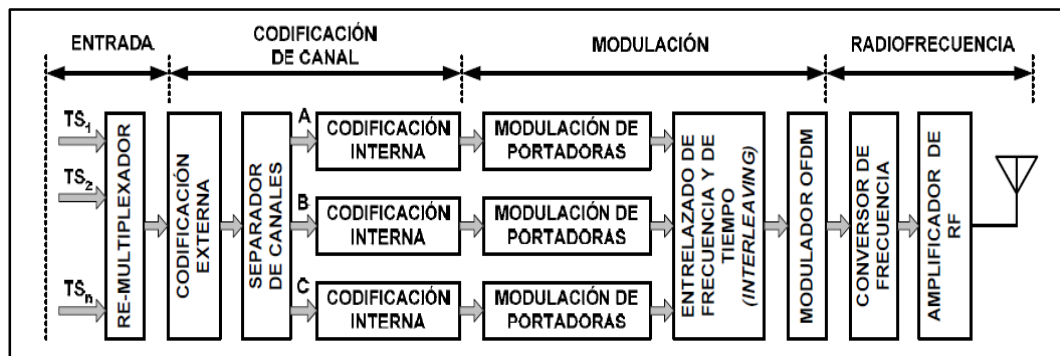
En la figura 8 se muestra con más detalle los bloques del sistema de transmisión. Las señales TS ingresan a un Remultiplexador o Remultiplexor, donde se ordenan las señales para transmitir en forma jerárquica.

Luego de ser remultiplexadas las señales pasan a un Codificador de Canal donde se añaden bits de datos en el bloque de Codificación externa y luego pasan a un separador de canales donde se divide la información en capas jerárquicas A, B y C. Finalmente se hace una codificación interna. Por esta razón se llama comúnmente modulación OFDM codificada o COFDM.

En la etapa de Modulación se realiza la configuración de las capas jerárquicas A, B y C, entrelazado de frecuencia y de tiempo, disposición del cuadro OFDM, se genera el flujo OFDM usando IFFT y se inserta el intervalo de guarda. (Pisciotta, 2010).

Figura 8

Diagrama en bloques del sistema de transmisión



Nota. Recuperado de Pisciotta, 2010

2.2.4.2 Multiplexación OFDM

OFDM es la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales. Es una técnica de comunicaciones que transmite información utilizando un determinado número de sub bandas en las que se divide un canal radioeléctrico.

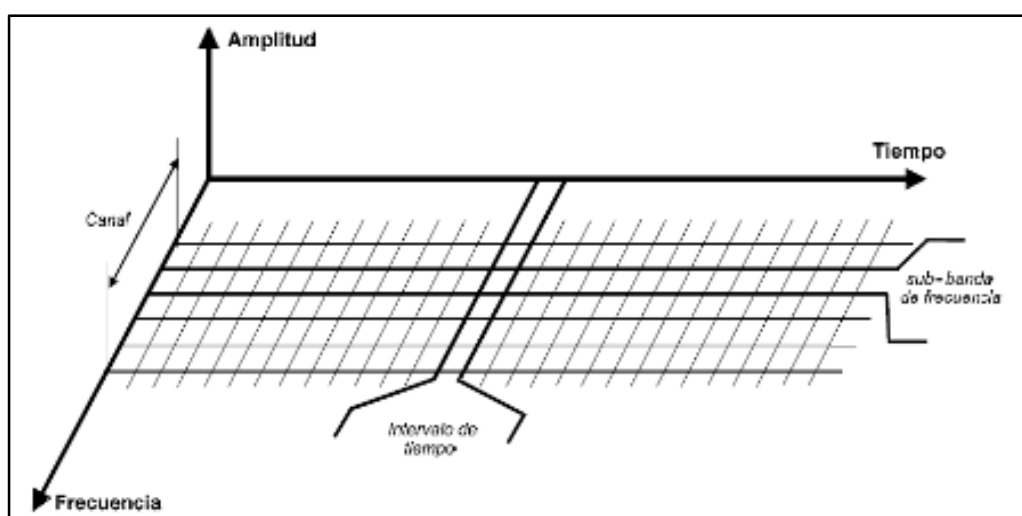
Estas sub bandas tienen una subportadora que lleva una parte de esa información, pero lo más importante, y lo que caracteriza a esta técnica, es que cada subportadora es ortogonal a las adyacentes, evitando de esta manera que se interfieran. (Moreno, 2019)

La ventaja de OFDM es que cada subportadora puede emplear técnicas de modulación como 64-QAM, además de poseer una gran fortaleza frente a desvanecimientos, interferencias y efectos multitrayecto.

OFDM organiza el canal radioeléctrico dividiendo el dominio del tiempo en pequeños intervalos y el dominio de la frecuencia también es dividido en sub-bandas que poseen portadoras ortogonales entre sí, para evitar interferencias entre dichas portadoras. Así se muestra en la figura 9.

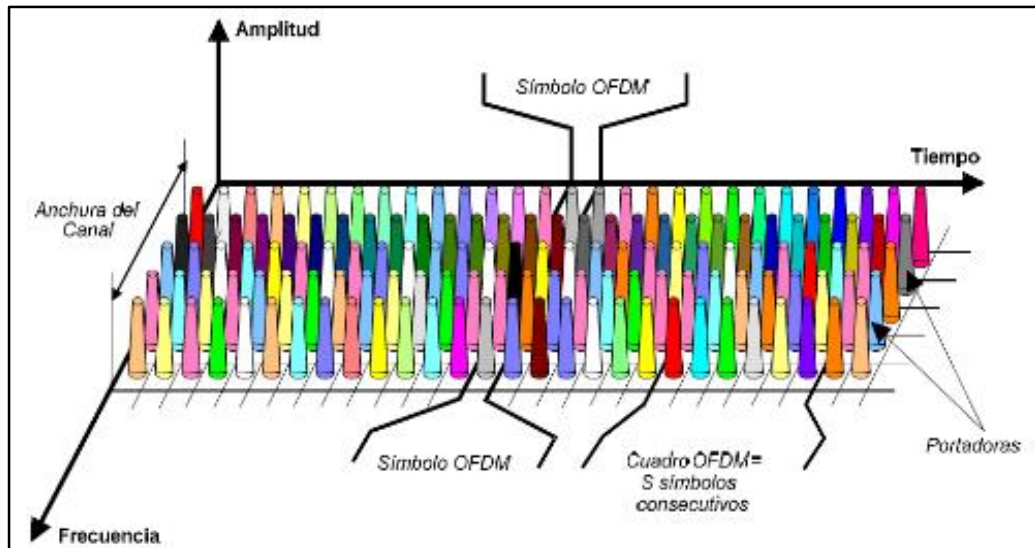
Figura 9

Organización del canal radioeléctrico



Nota. Recuperado de Pisciotta, 2010

OFDM organiza un determinado número de portadoras en un intervalo de tiempo que se denomina “Símbolo OFDM”. Una sucesión de S símbolos OFDM se denomina “Cuadro OFDM”. En la figura 8 se muestra esta distribución.

Figura 10*Distribución de portadoras*

Nota. Recuperado de Pisciotta, 2010

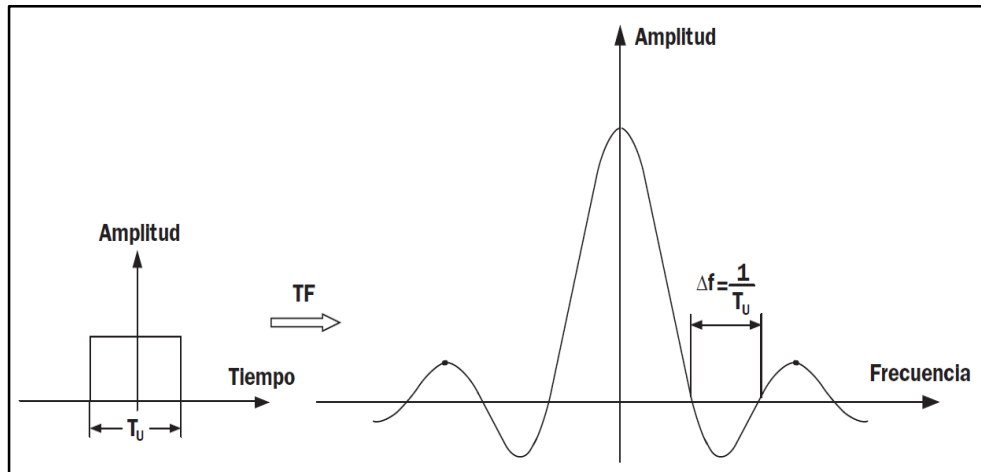
2.2.4.3 Interferencia entre portadoras (ICI)

La condición de ortogonalidad, hace que las portadoras que están dentro de un símbolo OFDM tengan una separación igual a la inversa del tiempo de duración del símbolo T_U , así se elimina la Interferencia entre portadoras (ICI).

Para conseguir esta condición se analiza, inicialmente, el espectro de un pulso de ancho T_U cuyo espectro en frecuencia (Transformada de Fourier) es del tipo $y=\text{sen}(x)/x$, el cual se muestra en la figura 11, donde se cumple que:

$$\Delta f = \frac{1}{T_U} \quad (1)$$

Figura 11*Transformada de Fourier de un pulso T_U*

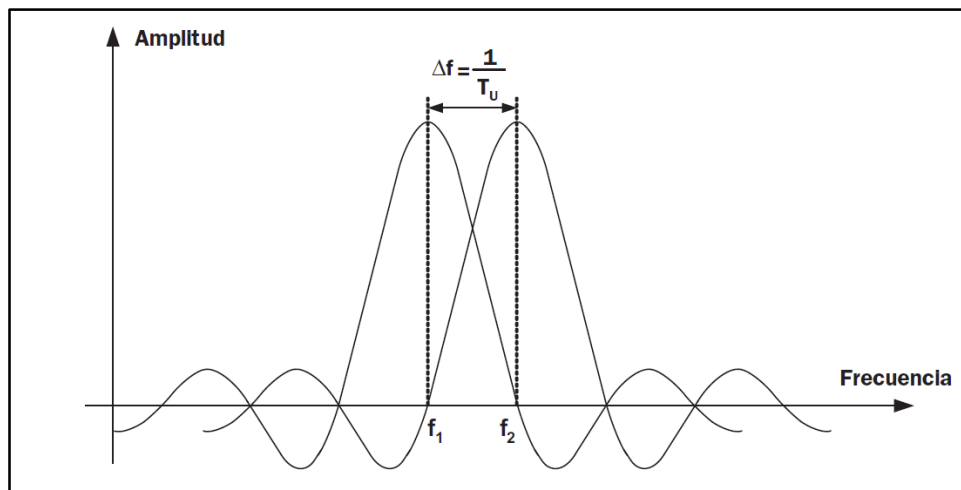


Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

Como normalmente no se transmite un solo pulso, sino un tren de pulsos a lo largo del tiempo, lo que se busca es conseguir que las portadoras que se transmiten, presenten un espectro donde las portadoras estén separadas una cantidad $\Delta f = 1/T_U$. En la figura 12 se aprecia que el valor máximo de la primera portadora f_1 coincide con el valor nulo de la segunda portadora.

Figura 12

Espectro de dos portadoras con separación Δf

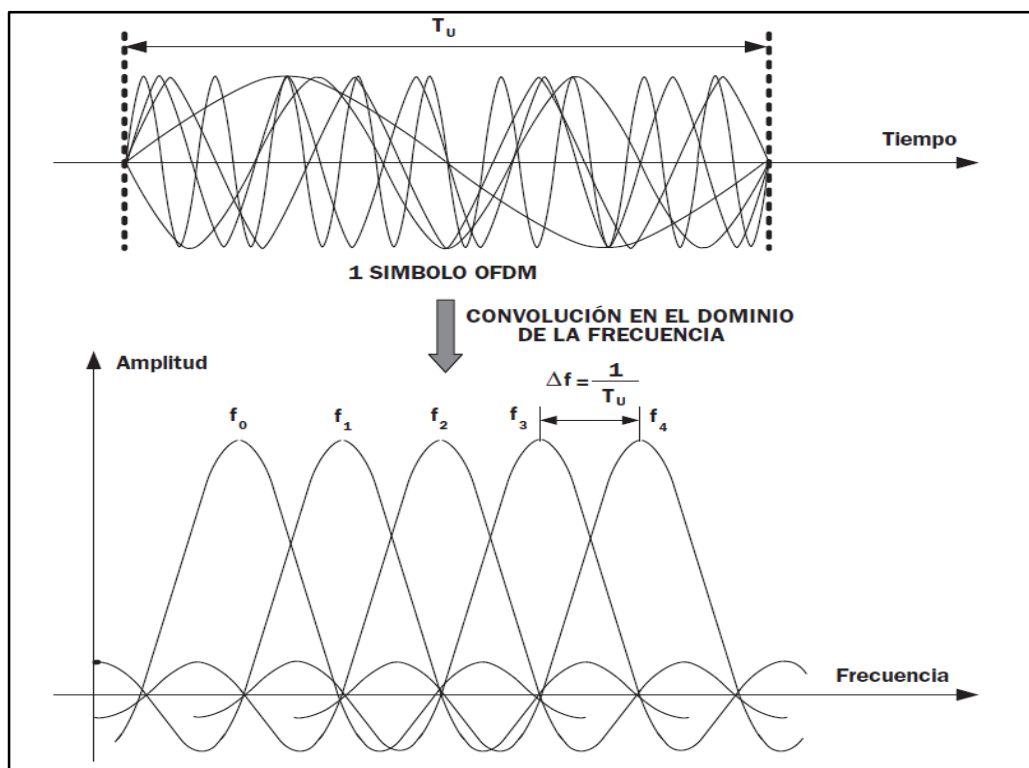


Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

Extendiendo este análisis a muchas o múltiples portadoras, se obtiene la modulación OFDM, en este caso para un símbolo OFDM de duración T_U . En la figura 13 se muestran las portadoras moduladas con símbolos de duración T_U .

Figura 13

Espectro de portadoras moduladas con símbolos de duración T_U



Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

2.2.4.4 Interferencia entre símbolos (ISI)

En la televisión digital, los receptores reciben la señal directa y las señales que llegan como rebote luego de un tiempo, originando una especie de ecos. Por este efecto, cada símbolo puede ser degradado por el final del símbolo que le antecede. En la figura 14 se muestra un esquema del recorrido de las señales que llegan un receptor en forma directa y reflejada. (Pisciotta, 2010)

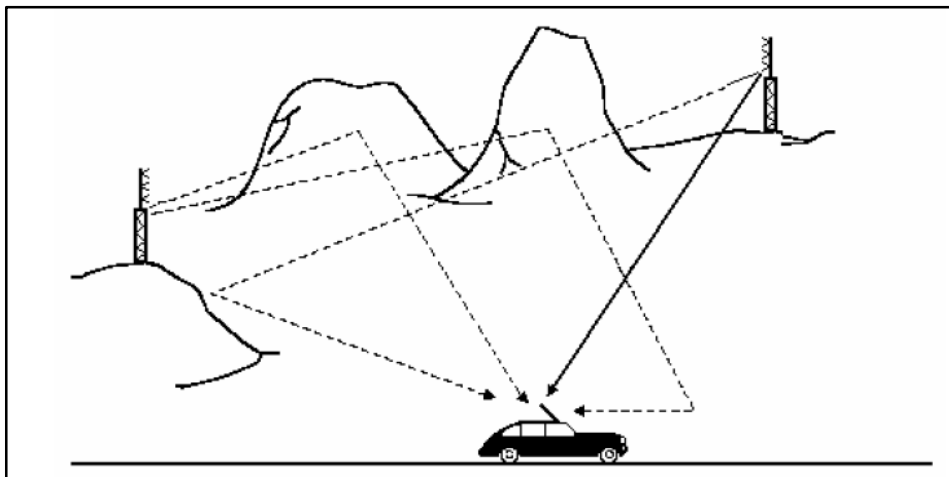
Para el cálculo del tiempo de retardo de una señal reflejada se usa la siguiente ecuación:

$$t_r = \frac{d}{c} \quad (2)$$

Donde: t_r es el tiempo de retardo en segundos
 d es la diferencia de distancia recorrida por la señal reflejada en km
 c es la velocidad de la luz igual a 300,000 km/s

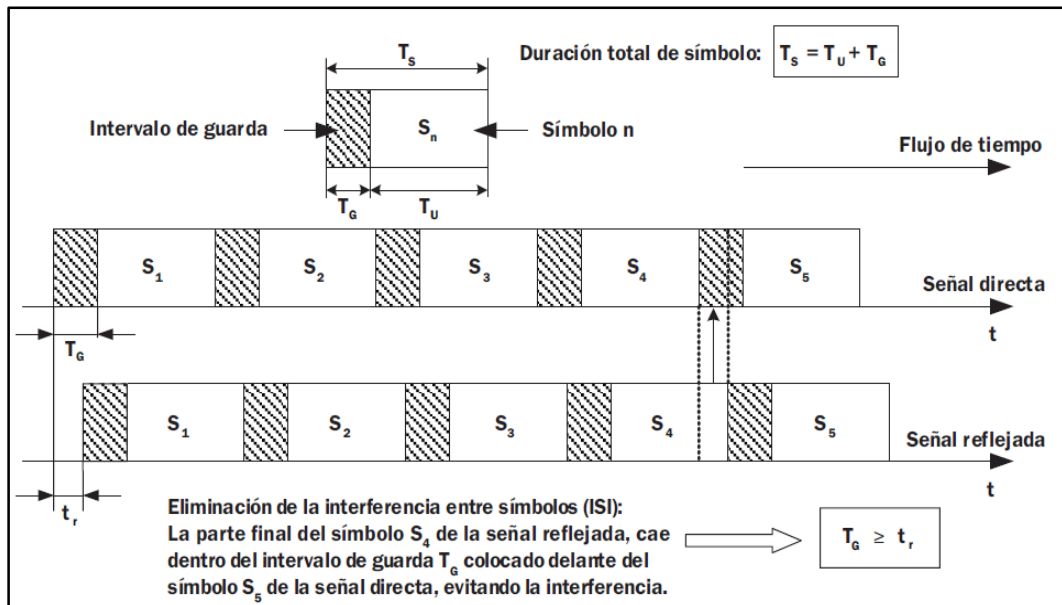
Figura 14

Señales que llegan al receptor en forma directa y reflejada



Nota. Recuperado de Pisciotta, 2010

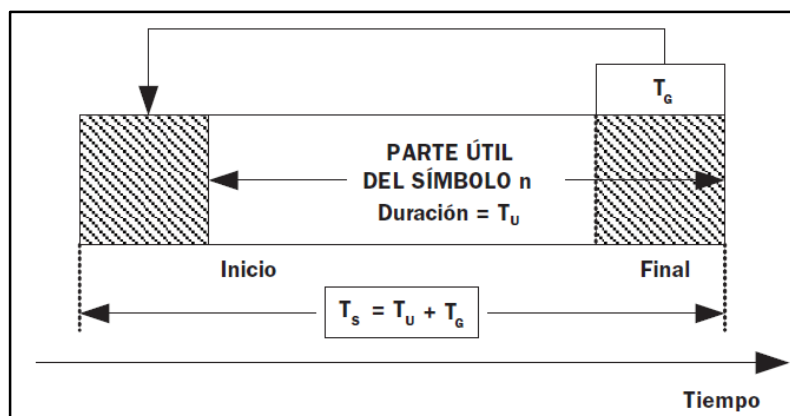
Lo más probable que ocurra es una interferencia entre símbolos sucesivos, debido a ese tiempo de retardo. Esta interferencia llamada ISI o interferencia entre símbolo, se elimina utilizando un tiempo o intervalo de guarda al comienzo de cada símbolo OFDM. Para evitar la ISI este intervalo de guarda llamado T_G debe ser mayor al tiempo de retardo t_r . En la figura 15 se muestra un esquema de cómo este intervalo de guarda impide la ISI. Este detalle es muy importante en nuestra investigación, como se verá más adelante en la descripción de una red de frecuencia única o SFN. El tiempo de retardo t_r se debe referir al que produce el objeto reflectante que se ubica a mayor distancia del punto de emisión, para hacer un buen diseño del sistema.

Figura 15*Inserción del intervalo de guarda*

Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

2.2.4.5 Contenido del intervalo de guarda

El intervalo de guarda contiene la parte final del tiempo útil del símbolo, es decir que la parte final del símbolo se inserta delante de él.

Figura 16*Formación del intervalo de guarda*

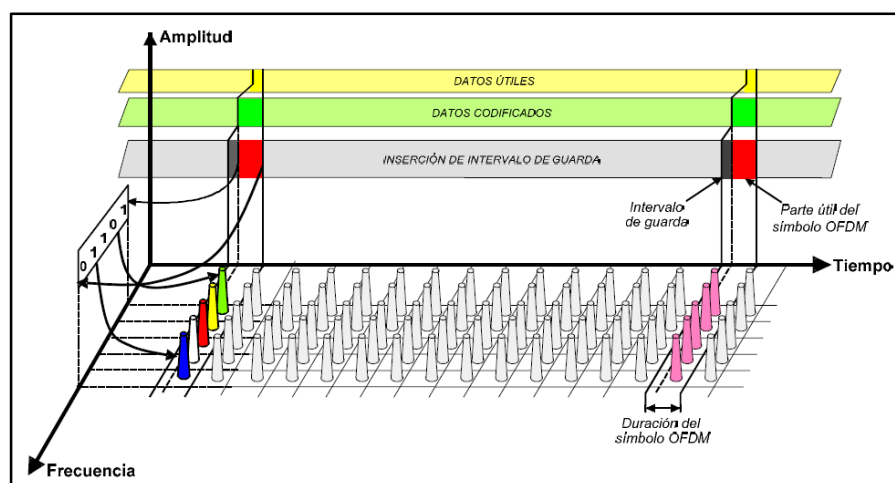
Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

2.2.4.6 Entrelazados de frecuencia y temporal

El entrelazado de frecuencia y temporal son 2 procesos que se realizan para mejorar la robustez del sistema OFDM. En la figura 17 se muestra la manera en que los datos útiles, en color amarillo son protegido por datos codificados o códigos, en color verde. Estos datos protegidos se convierten en la parte útil del símbolo OFDM al cual se le agrega, finalmente, el intervalo de guarda. Luego de todo esto, se realiza el entrelazado de frecuencia. (Pisciotta, 2010)

Figura 17

Distribución de bits contiguos entre portadoras distantes



Nota. Recuperado de Pisciotta, 2010

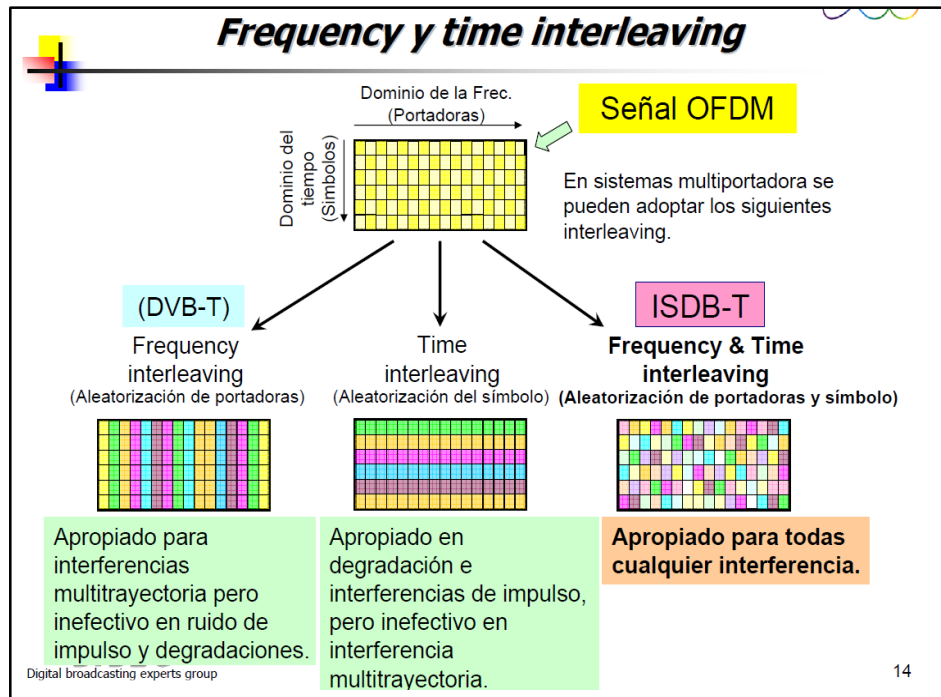
El entrelazado de frecuencia consiste en distribuir los bits de datos contiguos entre portadoras distantes de manera que el problema del desvanecimiento no afecte a portadoras de frecuencias adyacentes. Este proceso se muestra en el esquema de la figura 17.

En la recepción móvil se presentan mayores interferencias y desvanecimientos, por lo que se incorpora el entrelazado temporal. Esta

combinación de entrelazado en frecuencia y entrelazado temporal se muestra en la figura 18, donde se compara con el sistema DVB-T.

Figura 18

Entrelazado en frecuencia y tiempo



Nota. Recuperado de DIBEG, 2009

2.2.4.7 Modulación de portadoras

En el esquema OFDM con que trabaja el estándar ISDB-Tb cada una de las portadoras se transmiten con su propia técnica de modulación que se pueden escoger entre cuatro modelos:

- DQPSK, que es la Modulación de fase diferencial, usado en receptores móviles.
- QPSK, que es la Modulación de fase en cuadratura, que es usado para transmisión de señales SDTV.
- 16QAM, que es la Modulación de Amplitud y Fase en Cuadratura de 16 estados y que es utilizada en transmisión de SDTV.

- 64QAM, que es la Modulación de Amplitud y Fase en Cuadratura de 64 estados y que es utilizada en transmisión HDTV.

Cada uno de esos esquemas de modulación de portadoras inserta un tiempo de retardo diferente debido a que usan diferente número de bits para modular la portadora.

Debido a este retardo ocasionado por el esquema de modulación de portadoras se debe hacer una corrección más antes del entrelazado de bits mediante un bloque de ajuste de retardo. Este ajuste se muestra en la Tabla 8, de esta manera el sistema hace una especie de igualdad de tiempo de transmisión de cada capa jerárquica.

Tabla 8

Ajuste del valor de atraso requerido como resultado del bit interleaving

Modulación de portadora	Valor del ajuste de atraso (número de bits) ^a		
	Modo 1	Modo 2	Modo 3
DQPSK/QPSK	384 x N-240	768 x N-240	1 536 x N-240
16 QAM	768 x N-480	1 536 x N-480	3 072 x N-480
64 QAM	1 152 x N-720	2 304 x N-720	4 608 x N-720

Nota. Recuperado de ABNT NBR 15601, 2007

^a N representa el número de segmentos usados por la capa jerárquica.

2.2.4.8 Elección de parámetros OFDM para la TDT

En un sistema OFDM existen parámetros básicos a partir de los cuales se realiza puede determinar diversos parámetros del sistema como por ejemplo la anchura de banda, la tasa de datos y el tiempo de retardo.

Uno de los datos fundamentales es el intervalo de guarda, generalmente nominado como T_G . El valor de este tiempo de retardo depende de muchas características del sistema, sobre todo del esquema de modulación de cada

portadora. Fijado el valor de T_G ha sido, se determina el tiempo útil de símbolo T_U y sumando ambos se calcula la duración total del símbolo T_S .

El intervalo de guarda se debe cumplir que $T_U \gg T_G$, es decir un valor que no sea muy determinante en la duración del tiempo de símbolo T_S , ya que este T_S no debe ser tan grande como queramos porque si no necesitaríamos usar un gran número de portadoras.

Conociendo T_G y T_U , tenemos que calcular el número de portadoras L que se necesitan de acuerdo al ancho de banda disponible. Si consideramos que la separación entre portadoras depende del tiempo útil T_U , cuya fórmula es:

$$\Delta f = \frac{1}{T_U}$$

Teniendo la separación Δf , el número de portadoras L se calcula como:

$$L = \frac{BW_C}{\Delta f} \quad (3)$$

Otra forma de determinar el número total de portadoras L es dividiendo la tasa total de datos y la tasa de transmisión que puede tener cada portadora. Esta tasa de transmisión depende del tipo de modulación que se use, sea DQPSK, QPSK, 16QAM o 64QAM y el tiempo útil de símbolo T_U . (Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013)

2.2.4.9 Determinación del número de portadoras necesarias

Mediante el Teorema de Shannon se realiza el cálculo de la capacidad máxima de transmisión de un canal. Ese cálculo se aprovecha para calcular el número de portadoras que se necesita en el sistema OFDM.

Para hacer ese cálculo que necesita saber la relación señal a ruido SNR. Se considera que en los sistemas como OFDM la relación S/N y la relación son similares por lo que se pueden considerar iguales para este cálculo.

En condiciones casi extremas que se pueden presentar en TV digital, que tiene un modelo de canal de Rice con múltiples reflexiones, una modulación 64QAM y redundancia media, se requiere una C/N de 18 dB, equivalente a 63 veces. Así calculamos para un ancho de banda del canal BW_C de 6 MHz:

$$C(\text{bps}) = BW_c \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = 6 \times \log_2(1 + 63) = 36 \text{ Mbps} \quad (4)$$

En el sistema de Tv digital no se usa la totalidad del ancho de banda del canal y no todas las portadoras se usan para la transmisión de datos; la tasa $R(\text{bps})$ de ISDB-Tb es menor que C . Pero si asumimos que $C = R$, podemos relacionar el número de portadoras L con el tiempo total del símbolo T_s de la siguiente manera, tomando el ejemplo de una modulación 64-QAM donde los bits por portadora son $b_p=6$ bits:

$$C = R(\text{bps}) = \frac{b_p \cdot L}{T_s} \quad (5)$$

$$36 \times 10^6 = \frac{6 \cdot L}{T_s}$$

$$\frac{L}{T_s} = 6 \times 10^6 \quad (6)$$

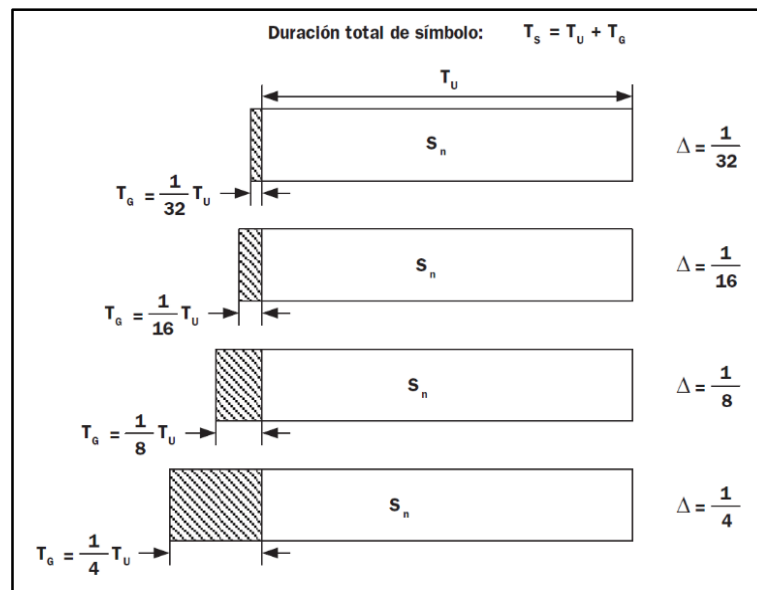
Eso quiere decir que se necesitarán 6 portadoras por cada microsegundo de duración total de símbolo T_s . Teniendo en cuenta que es necesario que $T_U \gg T_G$ para evitar la ISI, en el estándar ISDB-Tb las relaciones entre el T_U y T_G se establecen como un conjunto de 4 valores normalizados representados por el símbolo Δ , donde puede ser:

$$\Delta = \frac{T_G}{T_U} = \frac{1}{4}; \frac{1}{8}; \frac{1}{16} \text{ ó } \frac{1}{32} \quad (7)$$

En la Figura 19 se muestra la comparación de los tiempos de guarda posible usando un mismo tiempo útil del símbolo.

Figura 19

Intervalos de guarda para el mismo tiempo útil de símbolo

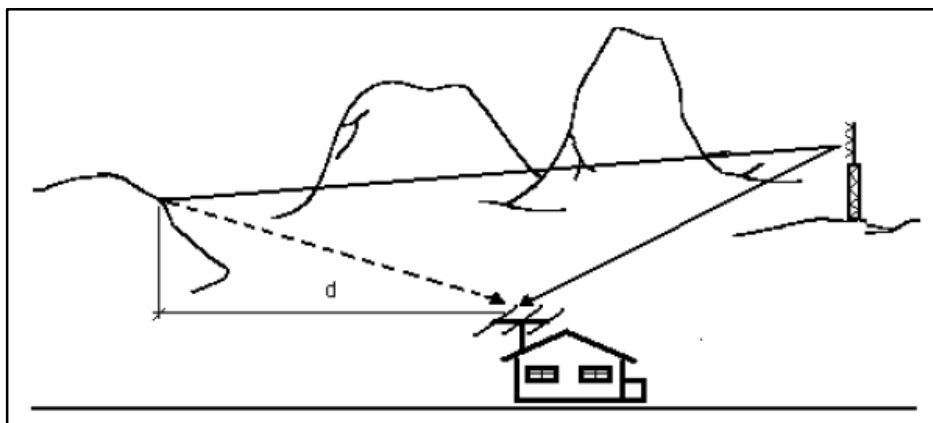


Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

Como un ejemplo, en la figura 20 se muestra el recorrido de la señal del transmisor al receptor y de una señal que llega al mismo receptor reflejándose en un objeto que está aproximadamente a 1 Km de distancia “ d ” del transmisor, por ello se considera que este reflejo o eco recorre 2 km aproximadamente.

Figura 20

Distancia recorrida por la señal reflejada



Nota. Recuperado de Pisciotta, 2010

Entonces, el tiempo de retardo arrojará el siguiente valor:

$$t_r = \frac{d}{c} = \frac{2km}{0,3 \frac{km}{\mu s}} \cong 7\mu s \quad (8)$$

Este tiempo de retardo debe ser igual a un intervalo de guarda pequeño, con lo cual la relación seleccionada es $\Delta=1/32$. Reemplazando valores en la ecuación 6, considerando que $T_G=t_r=7\mu s$, se tiene: (Pisciotta, 2010)

$$\frac{L}{T_S} = \frac{L}{T_U + T_G} = 6 \times 10^6$$

$$\frac{L}{\frac{T_G}{\Delta} + T_G} = \frac{L}{32T_G + T_G} = 6 \times 10^6$$

$$L = 33 \times 7 \times 6 = 1386 \text{ portadoras}$$

2.2.4.10 Generación de los símbolos OFDM

Al conocer el número de portadoras que se deben usar para implementar el modulador OFDM se comprende que es necesario utilizar un método para generar una gran cantidad de portadoras con una frecuencia exacta, con una separación de frecuencia constante entre ellas y otros requisitos de sincronización.

El método elegido para para generar esa gran cantidad de portadoras es la Transformada Rápida Inversa de Fourier IFFT, para lo cual el sistema usa procesadores numéricos.

La cantidad de portadoras debe ser igual a un número entero potencia de 2, es decir de 2^n . Para las 1386 portadoras calculadas anteriormente se debe tener que el número entero más cercano que es potencia de 2 es 2048, donde $n=11$. (Pisciotta, 2010)

Otra consideración que se toma en cuenta es que, al lado del receptor, se implementan procesadores que calculan la Transformada Rápida de Fourier FFT dentro del tiempo de símbolo T_S , por ello la cantidad de muestras que toman los procesadores debe ser un número entero. También se considera que debe ser un número entero la cantidad de muestras dentro del tiempo útil del símbolo T_U . Con todas estas exigencias, se considera que se debe calcular la frecuencia de muestreo de la siguiente manera:

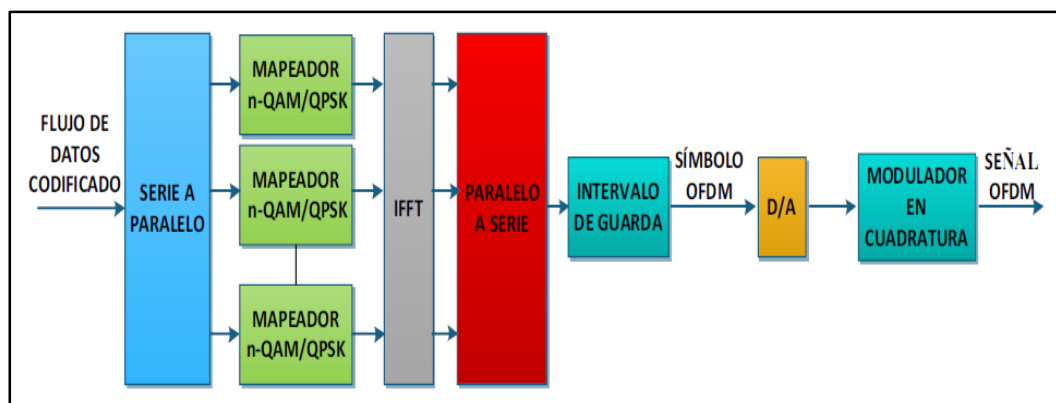
$$f_{IFFT} = \frac{2^n}{T_U} \quad (9)$$

Donde el valor de $2^n \geq L$.

El modulador OFDM se puede entender al observar la figura 21 donde se esquematiza en un diagrama de bloques donde el flujo de datos ingresa al modulador a través de un convertidor serie a paralelo que transforma es flujo único en varios flujos que se mapean y se les asigna el esquema de modulación de portadoras; ya teniendo cada flujo con el tipo de modulación, n-QAM o QPSK, se generan las portadoras mediante la IFFT donde se vuelve a convertir el flujo de datos a una sola salida en serie; luego de esto se agrega el intervalo de guarda para formar el símbolo OFDM completo. Con el símbolo OFDM formado se realiza el proceso de la modulación en cuadratura, para lo cual se debe transformar antes el flujo de datos a banda base mediante un convertidor de digital a analógico; ésta señal de banda base modulada en cuadratura es la que contiene las múltiples portadoras que son ortogonales entre ellas.

Figura 21

Diagrama de bloques de un modulador OFDM



Nota. Recuperado de Jarrín y Morrejón, 2012

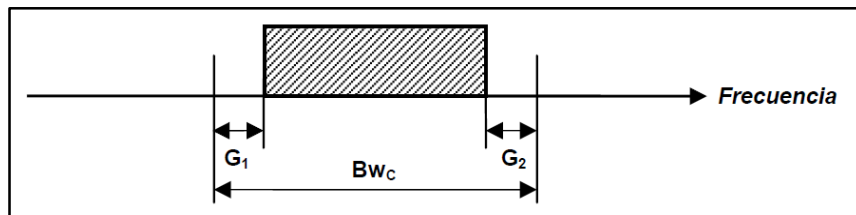
2.2.4.11 Organización del canal radioeléctrico de transmisión

Como otros servicios de radiodifusión, en el estándar ISDB-Tb de televisión digital terrestre organiza su canal radioeléctrico usando bandas de guarda para

evitar la interferencia de canales adyacentes. Estas bandas de guarda se plantean, inicialmente, como se muestra en la figura 22:

Figura 22

Bandas de guarda superior e inferior de un canal



Nota. Recuperado de Pisciotta, 2010

El estándar japonés-brasileño se diseñó para trabajar escogiendo entre anchos de banda de 6, 7 u 8 MHz por canal; como en el Perú se utiliza 6 MHz con una transmisión de banda segmentada que divide el canal en 14 segmentos. Cada segmento lleva información en banda angosta, que puede ser utilizado por receptores móviles de baja resolución LDTV. El ancho de cada segmento se calcula de la siguiente manera:

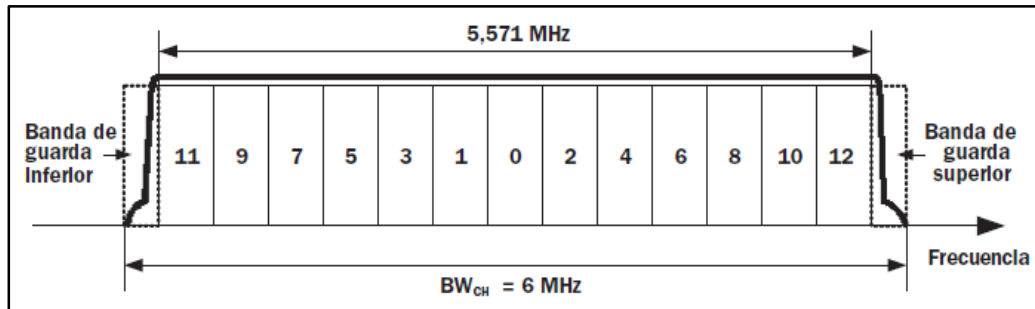
$$BW_{seg} = \frac{6000Khz}{14} = 428.57 KHz \quad (11)$$

De esos 14 segmentos, solo 13 se usan para transmitir la información, el segmento sobrante se divide entre las dos bandas de guarda de la parte superior y la parte inferior. Esos 13 segmentos se reparten colocando 1 segmento central y 6 segmentos a cada lado izquierdo y derecho. Entonces tenemos que el ancho de banda que realmente se utiliza es de 5.571 MHz, tal como se calcula en la ecuación:

$$BW_{\acute{u}til} = 13 \times \frac{6Mhz}{14} = 5.571 Mhz \quad (12)$$

Figura 23

Segmentación del canal de 6 Mhz



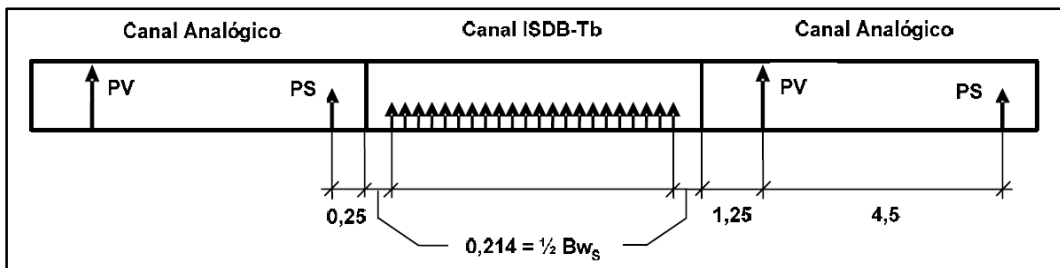
Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

2.2.4.12 Bandas de guarda

Los canales de televisión digital, comparten el espectro con canales de televisión analógica, se deben hacer algunas modificaciones en las bandas de guarda $G1$ y $G2$ que inicialmente se calcularon como la mitad del ancho de un segmento que tiene 428.57 KHz . Para hacer estas modificaciones se debe tener en cuenta el espacio entre las portadoras analógicas de video y audio PS y PV con el límite del canal respectivo. Esto se muestra en la figura 24.

Figura 24

Espaciamientos en frecuencia (Mhz)



Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

Entre la portadora de sonido y la primera portadora ISDB-Tb hay una separación $S = 0,25 + 0,214 = 0,464 \text{ MHz}$.

Entre portadora de video y la última portadora ISDB-Tb hay una separación $S = 1,25 + 0,214 = 1,464 \text{ MHz}$.

Entonces se modifican los anchos de las bandas de guarda en base al siguiente criterio:

$$G_1 = \frac{5}{14} \text{MHz} = 0.357 \text{MHz}$$

$$G_2 = \frac{1}{14} \text{MHz} = 0.071 \text{MHz}$$

Los valores de separación entre las portadoras del canal de televisión analógica y el canal de televisión digital se modifican para aproximar a una relación 2:1. La norma ISDB-Tb establece una separación de la siguiente manera:

- Entre la portadora de sonido y la primera portadora ISDB-Tb:

$$S = 0,25 + 0,357 = 0,607 \text{ MHz}$$

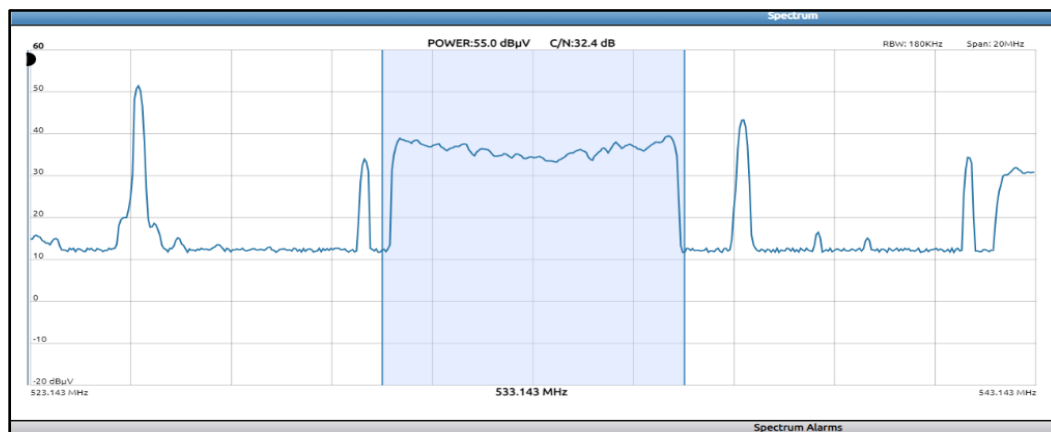
- Entre portadora de video y última portadora ISDB-Tb:

$$S = 1,25 + 0,071 = 1.321 \text{ MHz}$$

Así queda una relación entre separaciones 2.18 a 1. En la figura 25 se muestra el espectro radioeléctrico tomada de un analizador GSERTEL RCS100I.

Figura 25

Canales digitales y analógicos compartiendo el espectro radioeléctrico



Nota. Creación propia.

2.2.4.13 Desplazamiento de la frecuencia central del canal

Al modificarse las bandas de guarda, también se modifica la posición de la frecuencia central f_0 del canal hacia una frecuencia más alta. Este desplazamiento,

llamado off-set es proporcional al cambio de las bandas de guarda, pero para determinarlo es necesario calcular el ancho de banda de 6.5 segmentos:

$$AB_{6\frac{1}{2}\text{segmentos}} = 6.5 \times 428.57\text{Khz} = 2.785\text{Mhz}$$

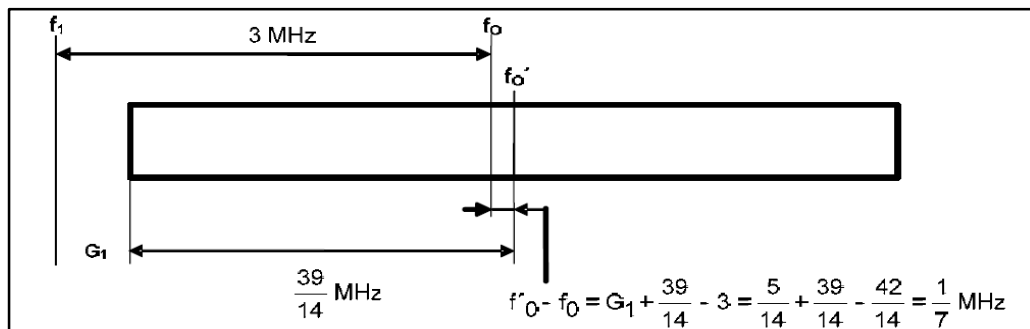
Entonces la frecuencia central se desplazará:

$$f'_0 = 0.357\text{Mhz} + 2.785 = 3.142\text{Mhz}$$

Esto equivale a un desplazamiento de 0.142Mhz de la frecuencia central del canal, lo que equivale a 1/7Mhz. (Pisciotta, 2010)

Figura 26

Obtención de la frecuencia central f'_0



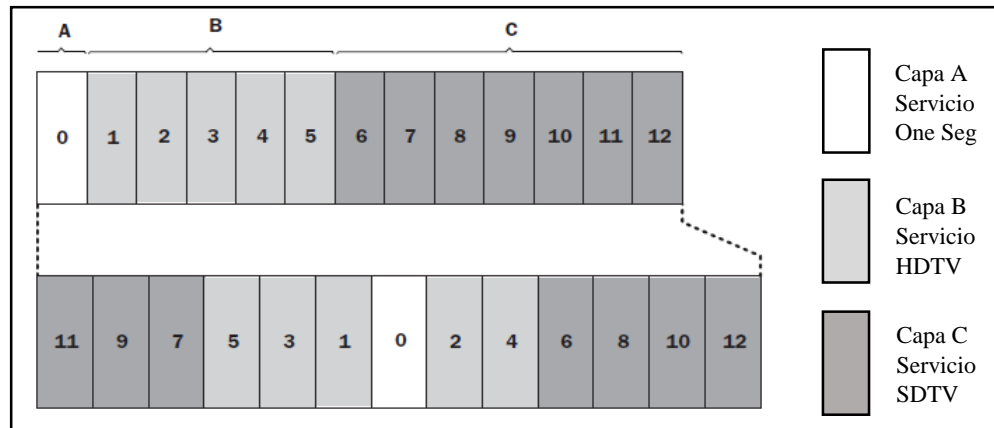
Nota. Recuperado de Pisciotta, 2010

2.2.4.14 Transmisión Jerárquica

La segmentación del canal en 13 segmentos se usa para organizar la información que se transmite en capas jerárquicas. ISDB-Tb asigna letras A, B y C a las capas y cada capa está formada por 1 o más segmentos. Mediante esta jerarquización de capas se pueden transmitir 3 tipos de servicios diferentes. En la figura 27 se muestra un ejemplo de la forma como se organizan las capas jerárquicas; así en la Capa A se transmite el servicio para dispositivos móviles llamado “one seg” para tasa baja de transmisión LDTV, en la Capa B se usan 7 segmentos para transmitir una señal HDTV y en la Capa C se usan 5 segmentos para transmitir una señal SDTV. Se debe resaltar que la transmisión jerárquica hace posible que los segmentos puedan ser remultiplexados, logrando que transiten en flujo de datos (Transport Stream)

Figura 27

Organización de segmentos en 3 capas jerárquicas



Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

La transmisión jerárquica hace posible que cada capa con sus segmentos, tengan métodos de protección de errores y tipo de modulación propios.

2.2.4.15 Modos de transmisión entre portadoras

Las normas del estándar ISDB-Tb establecen que el sistema debe tener 3 opciones de separación entre portadoras que se denominan modos, para que las estaciones de una red SFN funcionen correctamente de acuerdo con la distancia entre ellas y para que se garantice la correcta recepción ante las variaciones del canal como consecuencia del efecto Doppler de la señal de recepción móvil, debe obligatoriamente ser posible seleccionar entre tres opciones. (ABNT, 2007)

Anteriormente se calculó 1386 como el número de portadoras para el Modo 1, pero al dividir entre los 13 segmentos obtenemos un valor que no es un entero:

$$L_S = \frac{1386}{13} = 106.6 \text{ portadoras}$$

Para evitar tener un número con decimales se buscó un número entero mayor que pueda generar un número entero de muestras, de acuerdo a la frecuencia de muestreo f_{IFFT} dentro de los periodos T_U , T_G y T_S , por ello se adopta un número de portadoras por segmento $L_S = 108$.

Al adoptar 108 portadoras por segmento en el Modo 1, para el Modo 2 se tendrá el doble 216 y para el Modo 3 se tendrá el cuádruple, 432 portadoras.

El número total de portadoras en un canal de televisión será, por tanto:

$$\text{Modo 1} \quad L = L_S \times N_S = 108 \times 13 = 1404 \text{ portadoras}$$

$$\text{Modo 2} \quad L = L_S \times N_S = 216 \times 13 = 2808 \text{ portadoras}$$

$$\text{Modo 3} \quad L = L_S \times N_S = 432 \times 13 = 5616 \text{ portadoras}$$

La separación entre portadoras es un cálculo básico que resulta de dividir el ancho de banda del segmento por modo entre el número de portadoras por modo.

$$\text{Modo 1} \quad \Delta f = \frac{\frac{6000}{14}}{108} = \frac{750}{189} = \frac{250}{63} = 3968 \text{ KHz}$$

$$\text{Modo 2} \quad \Delta f = \frac{\frac{6000}{14}}{216} = \frac{750}{378} = \frac{125}{63} = 1984 \text{ KHz}$$

$$\text{Modo 3} \quad \Delta f = \frac{\frac{6000}{14}}{432} = \frac{750}{756} = \frac{250}{252} = \frac{125}{126} = 0.992 \text{ KHz}$$

También es sencillo calcular el tiempo útil como $T_U = \frac{1}{\Delta f}$.

$$\text{Modo 1} \quad T_U = \frac{1}{3968} = 252 \mu s$$

$$\text{Modo 2} \quad T_U = \frac{1}{1984} = 504 \mu s$$

$$\text{Modo 3} \quad T_U = \frac{1}{0.992} = 1008 \mu s$$

Se puede calcular el intervalo de guarda T_G y la duración del símbolo T_S teniendo en cuenta que la relación $\Delta = \frac{T_G}{T_U}$ puede ser 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32.

$$\text{Para el Modo 1} \quad T_G = \frac{1}{4} T_U = 63 \mu s \quad T_S = T_U + T_G = 315 \mu s$$

$$T_G = \frac{1}{8} T_U = 31.5 \mu s \quad T_S = T_U + T_G = 283.5 \mu s$$

$$T_G = \frac{1}{16} T_U = 15.75 \mu s \quad T_S = T_U + T_G = 267.75 \mu s$$

$$T_G = \frac{1}{32} T_U = 7.875 \mu s \quad T_S = T_U + T_G = 259.875 \mu s$$

Para el Modo 1, llamado también 2K, también podemos calcular la frecuencia de muestreo de la IFFT considerando que $T_U = 252\mu s$ y que $n=11$.

$$f_{IFFT} = \frac{2^n}{T_U} = \frac{2^{11}}{252 \times 10^{-6}s} = \frac{2048}{252 \times 10^{-6}s} = 8.12698 \text{ MHz}$$

Esta frecuencia de muestreo es común a los 3 modos del estándar ISDB-Tb ya que, si dividimos el factor 2^n entre el correspondiente tiempo útil T_U , nos daría el mismo resultado. (Pisciotta, 2010)

2.2.4.16 Parámetros básicos de ISDB-Tb

La norma ABNT NBR 15601 presenta especificaciones técnicas sobre la codificación de canal. Estas especificaciones están en concordancia con la ARIB STD-B31:2005, sección 3, con la ITU Recommendation BT.1306, Anexo 1.c, y también con la Tabla 9. (ABNT NBR 15601, 2007)

Tabla 9

Parámetros del Sistema de transmisión

	Parámetros	Valores	
1	Número de segmentos	13	
2	Ancho del segmento	$6000 / 14 = 428.57 \text{ kHz}$	
3	Banda UHF	Modo 1	5575 MHz
		Modo 2	5573 MHz
		Modo 3	5572 MHz
4	Número de portadoras	Modo 1	1405
		Modo 2	2809
		Modo 3	5617
5	Método de modulación	DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	
6	Duración de los símbolos activos	Modo 1	252 μs
		Modo 2	504 μs
		Modo 3	1.008 μs
7	Separación de portadoras	Modo 1 $B_{ws} / 108 = 3,968 \text{ kHz}$	

		Modo 2	$B_{ws} / 216 = 1,984 \text{ kHz}$
		Modo 3	$B_{ws} / 432 = 0,992 \text{ kHz}$
			1/4, 1/8, 1/16, 1/32 de la duración del símbolo activo
8	Duración del intervalo de guarda	Modo 1	63; 31,5; 15,75; 7,875 μs
		Modo 2	126; 63; 31,5; 15,75 μs
		Modo 3	252; 126; 63; 31,5 μs
		Modo 1	315; 283,5; 267,75; 259,875 μs
9	Duración total de los símbolos	Modo 2	628; 565; 533,5; 517,75 μs
		Modo 3	1260; 1134; 1071; 1039,5 μs
10	Duración del cuadro de transmisión		204 símbolos OFDM
11	Codificación de canal		Código convolucional, tasa = 1/2 con 64 estados
			Punzado para las tasas 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
			Entrelazamiento intra e inter segmentos (entrelazamiento en frecuencia)
12	Entrelazamiento interno		Entrelazamiento convolucional con profundidad de interleaving
		Modo 1	0; 380; 760; 1.520 símbolos
		Modo 2	0; 190; 380; 760 símbolos
		Modo 3	0; 95; 190; 380 símbolos

Nota. Recuperado de ABNT NBR 15601, 2007

Para el segmento OFDM se muestran los parámetros en la Tabla 10.

Tabla 10

Parámetros del segmento OFDM

Modo	Modo 1		Modo 2		Modo 3		
Ancho de banda	3000/7=428.57 kHz						
Separación entre frecuencias portadoras	250/63		125/63		125/126		
Total	108	108	216	216	432	432	
Datos	96	96	192	192	384	384	
Número de portadoras	SP ^a	9	0	18	0	36	0
	CP ^a	0	1	0	1	0	1
	TMC	1	5	2	10	4	20
	C ^b						
	AC1 ^c	2	2	4	4	8	8
	AC2 ^c	0	4	0	9	0	19
		QPSK		QPSK		QPSK	
Esquema de modulación de las portadoras	16QA		16QA		16QA		
	M	DQPS	M	DQPS	M	DQPS	
	64QA	K	64QA	K	64QA	K	
	M		M		M		
Símbolos por cuadro	204						
Intervalo de guarda	63 μs (1/4), 31,5 μs (1/8), 15,75 μs (1/16),		126 μs (1/4), 63 μs (1/8), 31,5 μs (1/16),		252 μs (1/4), 126 μs (1/8), 63 μs (1/16),		
Longitud del cuadro	64,26 ms (1/4), 57,834 ms (1/8), 54,621 ms (1/16),		128,52 ms (1/4), 115,668 ms (1/8), 109,242 ms (1/16),		257,04 ms (1/4), 231,336 ms (1/8), 218,484 ms (1/16),		
Frecuencia de muestreo de la IFFT	512/63 = 8,12698 MHz						

Entrelazamiento interno	Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)
Codificador externo	RS (204,188)

Nota. Recuperado de ABNT NBR 15601, 2007

^a SP y CP son usados por el receptor para fines de sincronización y demodulación.

^b MCC es información de control.

^c AC se usa para transmitir información adicional. AC1 está disponible en igual número en todos los segmentos, mientras que AC2 está disponible solamente en segmento de modulación diferencial.

En la Tabla 11 se muestran los parámetros obligatorios para la señal de transmisión.

Tabla 11

Parámetros de la señal de transmisión

Modo	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Número de segmentos OFDM N_s		13	
	3000/7 kHz x	3000/7 kHz x	3000/7 kHz x N_s
Ancho de banda	$N_s +$ 250/63 kHz = 5,575MHz	$N_s +$ 125/63 kHz = 5,573MHz	$+$ 125/126 kHz = 5,572 MHz
Número de segmentos de modulación diferencial		n_d	
Número de segmentos de modulación síncrona		$n_s (n_s + n_d = N_s)$	
Separación entre frecuencias	250/63 = 3,968 kHz	125/63 = 1,984 kHz	125/126 = 0,992 kHz

portadoras				
Número de portadoras	Total	$108 \times N_s + 1 = 1$ 405	$216 \times N_s + 1 = 2$ 809	$432 \times N_s + 1 = 5$ 617
	Datos	$96 \times N_s = 1$ 248	$192 \times N_s = 2$ 496	$384 \times N_s = 4$ 992
	SP	$9 \times n_s$	$18 \times n_s$	$36 \times n_s$
	CP a	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	TMCC	$n_s + 5 \times n_d$	$2 \times n_s + 10 \times n_d$	$4 \times n_s + 20 \times n_d$
	AC1	$2 \times N_s = 26$	$4 \times N_s = 52$	$8 \times N_s = 104$
	AC2	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
	Esquema de modulación de las portadoras			
QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK				
Símbolos por cuadro	204			
Tamaño del símbolo efectivo	252 μ s	504 μ s	1008 μ s	
Intervalo de guarda	63 μ s (1/4), 31,5 μ s (1/8), 15,75 μ s (1/16), 7,875 μ s (1/32)	126 μ s (1/4), 63 μ s (1/8), 31,5 μ s (1/16), 15,75 μ s (1/32), 128,52 μ s (1/4), 115,668 μ s (1/8), 109,242 μ s (1/16), 106,029 μ s (1/32),	252 μ s (1/4), 126 μ s (1/8), 63 μ s (1/16), 31,5 μ s (1/32), 257,04 μ s (1/4), 231,336 μ s (1/8), 218,484 μ s (1/16), 212,058 μ s (1/32),	
	Longitud del cuadro	54,621 μ s (1/16), 53,0145 μ s (1/32)	109,242 μ s (1/16), 106,029 μ s (1/32),	212,058 μ s (1/32), 218,484 μ s (1/16), 231,336 μ s (1/8), 257,04 μ s (1/4),
	Inner code	Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4 5/6, 7/8)		
	Outer code	RS (204,188)		

Nota. Recuperado de ABNT NBR 15601, 2007

^a El número de CP representa la suma de los CP en el segmento más un CP agregado a la derecha de la banda total.

Para determinar la velocidad de datos de los tres modos se parte de la fórmula básica, que se vio anteriormente:

$$R(bps) = \frac{b_p \cdot L}{T_s}$$

En esta fórmula el valor b_p indica el número de bits que se transmiten por símbolo y portadora, L es la cantidad de portadoras y T_s es el tiempo de símbolo.

A la fórmula anterior se le deben aplicar algunas correcciones debido a que se ha agregado un intervalo de guarda que reduce la velocidad de transferencia neta del sistema, además tampoco se ha tenido en cuenta que la cantidad de portadoras disponibles para la transmisión de datos L_D por segmento, es menor que L_S , por lo tanto $L = 13 \times L_D$. Así, se puede escribir la ecuación anterior como:

$$R(bps) = K_0 \times K_1 \frac{b_p \times 13 \times L_D}{T_s} \quad (13)$$

Donde:

K_0 es una constante de codificación externa y $K_0 = \frac{188}{204}$

K_1 está en función de la codificación interna y puede tomar varios valores

$$K_1 = \frac{1}{2}; \frac{2}{3}; \frac{3}{4}; \frac{5}{6} \text{ ó } \frac{7}{8}$$

Aplicando la ecuación para el cálculo de $R(bps)$ a todas las combinaciones posibles. En la Tabla 12 se calculan los valores para los 13 segmentos:

Tabla 12

Tasas de transmisión R (en Mbps) para 13 segmentos

Relación Δ	Tasa binaria R(Mbps)			
	K_1	QPSK/DQPSK	16QAM	64QAM
		$b_p = 2$	$b_p = 4$	$b_p = 6$
	1/2	3,651	7,302	10,954
	2/3	4,868	9,736	10,954

1/4	3/4	5,477	10,954	16,430
	5/6	6,085	12,171	18,256
	7/8	6,390	12,799	19,161
	1/2	4,057	8,114	12,171
	2/3	5,409	10,818	16,227
	3/4	6,085	12,171	18,256
1/8	5/6	6,761	13,523	20,284
	7/8	7,099	14,199	21,298
	1/2	4,295	8,591	12,886
	2/3	5,727	11,455	17,182
	3/4	6,443	12,886	19,330
1/16	5/6	7,159	14,318	21,477
	7/8	7,517	15,034	22,551
	1/2	4,426	8,851	13,277
	2/3	5,901	11,802	17,703
	3/4	6,638	13,277	19,915
1/32	5/6	7,376	14,752	22,128
	7/8	7,745	15,490	23,235

Nota. Recuperado de Páramo, 2016

El dato más relevante para el caso del diseño de una red de frecuencia única SFN es la distancia máxima que pueden recorrer las señales multitrayectoria, donde se asume que el $T_G = t_r$ para evitar interferencia ISI en el tiempo útil de un símbolo OFDM. Así para calcular esa distancia, se parte de la ecuación del tiempo de retardo que se vio anteriormente.

$$t_r = \frac{d}{c} = \frac{d}{0,3 \frac{km}{\mu s}}$$

Aquí despejamos la distancia d:

$$d = t_r \times 0,3 \frac{km}{\mu s}$$

Entonces obtenemos la distancia máxima que puede recorrer la onda reflejada. Estas distancias se muestran en la Tabla 13 de acuerdo a los diferentes modos y parámetros Δ . (Páramo, 2016)

Tabla 13

Distancias máximas que puede recorrer la onda reflejada

Δ	Modo 1 (2K)		Modo 2 (4K)		Modo 3 (8K)	
	T_G	d	T_G	d	T_G	d
1/4	63 μ s	18,9 km	126 μ s	37,8 km	252 μ s	75,6 km
1/8	31,5 μ s	9,45 km	63 μ s	18,9 km	126 μ s	37,8 km
1/16	15,75 μ s	4,72 km	31,5 μ s	9,45 km	63 μ s	18,9 km
1/32	7,875 μ s	2,36 km	15,75 μ s	4,72 km	31,5 μ s	9,45 km

Nota. Recuperado de Páramo, 2016

El caso más desfavorable es cuando las señales reflejadas recorren más de 18,9 km en el Modo 1 o 2K, porque se introduce una interferencia ISI dentro del tiempo útil del símbolo OFDM. Este problema se evita trabajando con modos 2 y 3 que permiten mayores distancias de los multitrayectos. (Páramo, 2016)

2.2.5 Red de Frecuencia Única

Se define así a la agrupación de transmisores y retransmisores que utilizan la misma frecuencia para propagar un mismo programa de televisión dentro de un mismo canal radioeléctrico para cubrir determinada zona geográfica, como por ejemplo una ciudad. Este tipo de red puede funcionar gracias al uso de técnicas digitales para la transmisión de la señal de la televisión terrestre.

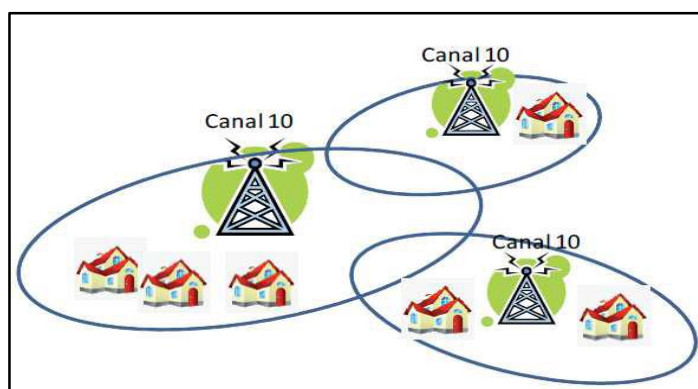
Una red SFN debe cumplir algunas condiciones fundamentales de sincronización para que pueda operar eficientemente:

- Debe operar con sincronización de frecuencia, es decir, que todas las portadoras OFDM deben tener igual frecuencia en toda la red de

- transmisores. Para lograr esta sincronización es fundamental que en toda la red se mantenga el modo de operación 1, 2 o 3. (Valdez, 2019)
- Debe operar con sincronización temporal en toda la red. Esta sincronización no es la misma que la del intervalo de guarda, ya que utiliza un pulso denominado pps para sincronizar a toda la red de transmisores. Este pulso pps se obtiene un GPS que va conectado a los transmisores de la red. (Valdez, 2019)
 - Debe haber sincronización bits, es decir, se debe tener una misma portadora, llamada k-ésima, en todos los transmisores de la red configurada con los mismos bits o el mismo símbolo. Para ello se requiere que se mantenga igual modo de operación e intervalo de guarda en toda la red.
 - Debe haber una sincronización de la red, para este efecto se usa una información adicional de sincronización que se envía en la cabecera de las tramas, denominadas Multiplex Frame o MF, en las que se organiza el flujo de datos. Todos los transmisores de la red se sincronizan con esta información que es una marca de tiempo que se tiene entre cada trama MF. La información de esta sincronización de red se obtiene del GPS del transmisor principal. (Valdez, 2019)

Figura 28

Esquema de una red SFN



Nota. Recuperado de López, 2018

Una red SFN puede utilizar varios transmisores o utilizar un transmisor principal y varios retransmisores. En el esquema de la figura anterior, se muestran un ejemplo de cómo funciona la red, pero para expresar matemáticamente esta red se consideran que todas las señales que emiten los transmisores son señales multitrayectoria que llegan a un mismo receptor durante el mismo tiempo de símbolo de manera que incrementen la potencia de la señal. (Jarrín y Morrejón, 2012)

La siguiente ecuación expresa lo dicho anteriormente:

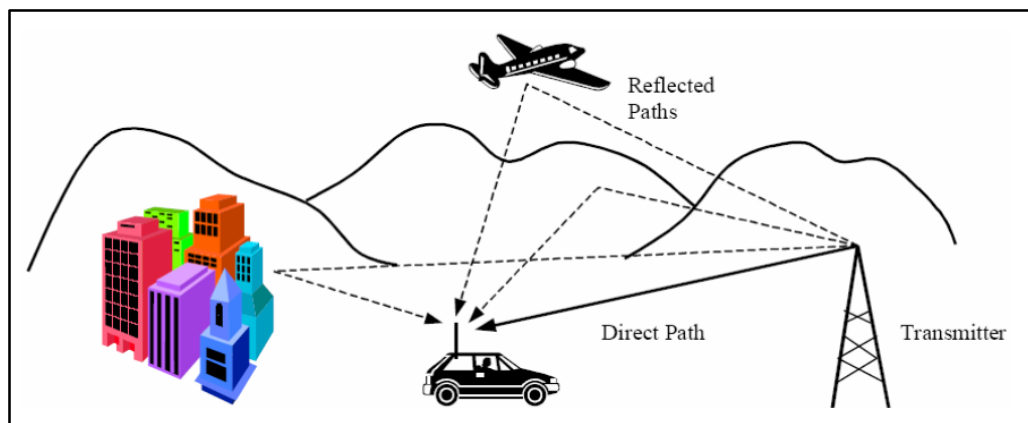
$$s(t) = \sum_{i=1}^n h_i(t) \otimes x(t) + z(t) \quad (14)$$

En esta ecuación $s(t)$ es la señal, $h_i(t)$ es la función del impulso del canal, $x(t)$ es la información OFDM que se transmite y $z(t)$ es el ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN). (Aguirre y Benitez, 2016)

En la figura 29 se muestran hace un esquema de estas señales multitrayectoria conocidas como “ecos”, y que son las ondas electromagnéticas que se han reflejado en diferentes obstáculos antes de llegar al receptor.

Figura 29

Señales multitrayectoria



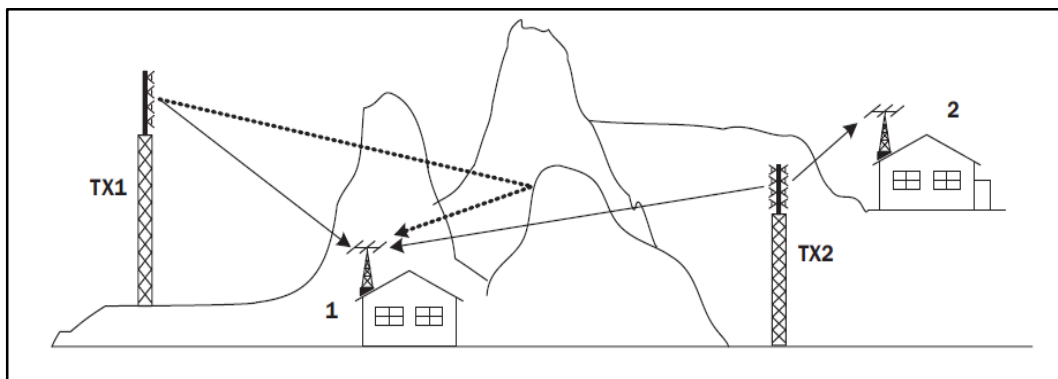
Nota. Recuperado de Jarrín y Morrejón, 2012

En este ejemplo, si alguna señal multitrayectoria llega después de terminado el tiempo de símbolo, se le considera una interferencia inter simbólica ISI. Por esto, se debe considerar un tiempo de guarda suficientemente grande para evitar el ISI.

Si en vez de señales multitrayectoria, hablamos de 2 o varios transmisores que emiten la misma señal al mismo receptor, debemos considerar la distancia que hay del transmisor al receptor para considerar esta información en el diseño de la red debido a que será necesario configurar la red SFN con un tiempo de guarda suficientemente grande para que las señales de los 2 transmisores contribuyan al incremento del nivel de la señal recibida y no lo contrario.

Figura 30

Un receptor capta la señal de 2 transmisores



Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

2.2.5.1 Tipos de Redes de Frecuencia Única

Las Redes SFN se pueden clasificar de la siguiente manera.

Según su cobertura geográfica:

- Redes de gran cobertura, donde cada transmisor brinda servicio a un área extensa. Un ejemplo de este tipo de red es la satelital que puede cubrir todo un país.
- Redes de cobertura reducida, donde cada transmisor brinda servicio a zonas geográficas pequeñas en comparación al anterior tipo de red.

Según se use la misma señal OFDM en cada transmisor:

- Redes de repetición o centralizadas, donde hay un transmisor principal que envía la información del canal a través de su modulador OFDM y

los retransmisores solo se encargan de repetirla sin necesidad de usar enlaces satelitales, por fibra óptica o por microondas.

En este tipo de red es que se despliegan los retransmisores denominados Gap Fillers, que se explicaran luego.

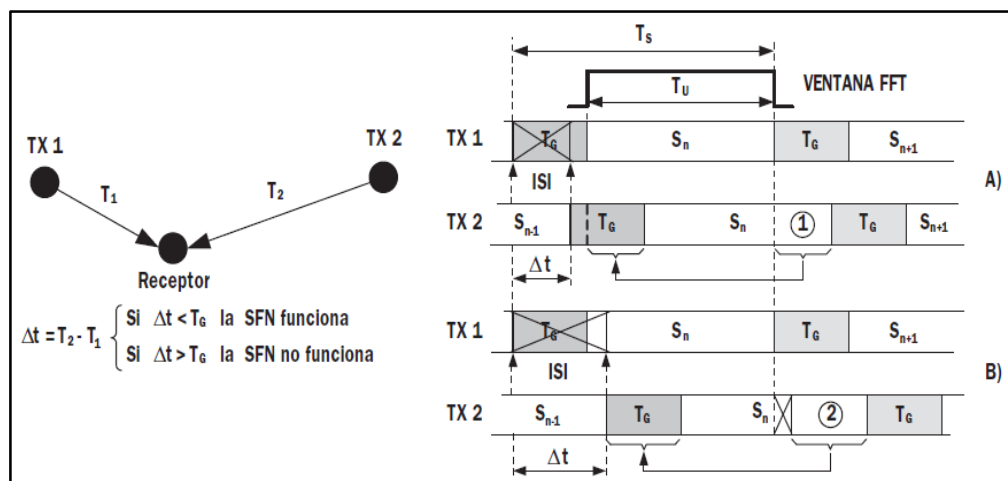
- Redes distribuidas o descentralizadas, que generalmente se despliegan en una gran zona geográfica como un país o una región, donde la información que se envía a la red está en formato BTS y cada transmisor utiliza su propio modulador OFDM para emitir la señal a la zona que desea cubrir. La señal BTS se puede enviar por enlaces satelitales, redes de fibra óptica o de microondas.

2.2.5.2 Intervalo de guarda en una red SFN

En la red SFN es importante considerar la distancia de los transmisores al receptor para que las señales de los transmisores y ecos lleguen dentro del intervalo de guarda. En el ejemplo de la figura 31 la señal de TX1 llega más rápido que la señal de TX2 por su menor distancia al receptor.

Figura 31

Intervalo de guarda en una red SFN



Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

En el ejemplo, la red SFN funciona si el retardo de la señal de TX2 respecto de TX1 es menor que el tiempo de guarda. A la derecha se esquematiza el momento en que el receptor abre una ventana de tiempo FFT para realizar la demodulación de la señal. El inicio de esta ventana del receptor coincide con el inicio del tiempo útil T_U de la señal.

En la misma figura, en el caso A) se muestra que la señal de TX2 es captada por el receptor dentro del intervalo de guarda, entonces el retardo Δt , que dura igual que la interferencia ISI, se producirá dentro del intervalo de guarda de la señal TX1. Por ello no se afectará la información de S_n ya que la parte marcada con un círculo 1 se repite en el intervalo de guarda de la señal TX2, que si está dentro de la ventana FFT. Puede ser que las señales lleguen desfasadas pero este desfase se corregirá en los procesadores de compensación del receptor.

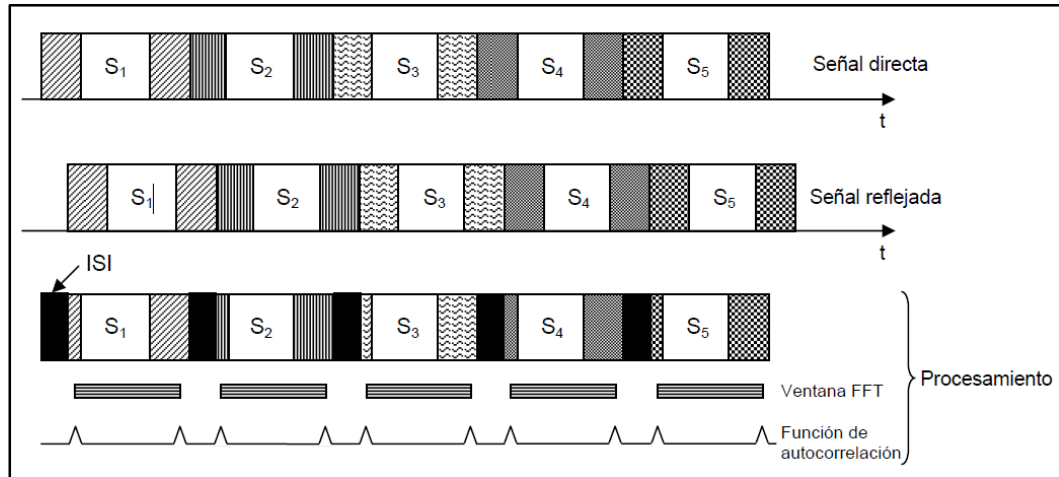
En el caso B) de la figura, la señal de TX2 llega con un retardo Δt superior al tiempo T_G haciendo que la ISI permanezca hasta afectar la información de S_n , aunque esta parte es información redundante. Esto produce una cadena de errores imposible de corregir porque parte de la señal de S_{n-1} de TX2 se capta dentro de la misma ventana donde se capta la señal S_n de TX1. Esta cadena de errores no se puede corregir ni con los procesadores de compensación del receptor, por lo que se producirá una caída de la señal. (Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013)

El receptor puede corregir el error anterior porque cuenta con la función de autocorrelación. Esta función se da gracias a que la parte final del símbolo útil se repite en el intervalo de guarda, por ello la autocorrelación detecta el inicio y el final del símbolo.

La función de autocorrelación hace que el receptor ubique la ventana de de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) dentro un sector de tiempo donde no haya conflictos. La ventana FFT tiene una longitud igual a un símbolo, pero no está alineadas con el símbolo que está detectando debido al efecto de búsqueda de la zona libre de (ISI); esto provoca un error de fase que se corregirá en otros procesadores posteriores. En la figura 32 se muestra todo este proceso.

Figura 32

Posicionamiento de la ventana FFT mediante la función de autocorrelación



Nota. Recuperado de Pisciotta, 2010

El criterio que más se adopta en el diseño de una red SFN es usar el modo 3 que hace posible tener mayor tiempo de guarda y un mayor rango de distancia entre los transmisores debido a la proporcionalidad inversa entre el tiempo útil T_U y la separación entre portadoras.

La ecuación de la distancia en función del tiempo útil es:

$$d = c \times \Delta \times T_U \quad (15)$$

Donde:

c es velocidad de la luz = $3 \times 10^8 m/s$

Δ es el intervalo de guarda normalizado

T_U es el tiempo útil de símbolo

La Tabla 14 muestra las distancias en que puede operar una red donde para calcular por ejemplo la mayor distancia de 75.6 Km se usa el mayor intervalo de guarda en el Modo 3, con un valor de 252 μs y un $\Delta = 1/4$. (Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013)

Tabla 14

Distancia para diferentes modos de operación

Modo	T_U	Δ	$T_G(\mu s)$	$T_S(\mu s)$	$d_{\max}(km)$
1	252 μs	1/4	63,00	315,00	18,90
		1/8	31,50	283,50	9,45
		1/16	15,75	267,75	4,72
		1/32	7,875	259,875	2,36
2	504 μs	1/4	126,00	630,00	37,80
		1/8	63,00	567,00	18,90
		1/16	31,50	535,50	9,45
		1/32	15,75	519,75	4,72
3	1008 μs	1/4	252,00	1260,00	75,60
		1/8	126,00	1134,00	37,80
		1/16	63,00	1071,00	18,90
		1/32	31,50	1039,50	9,45

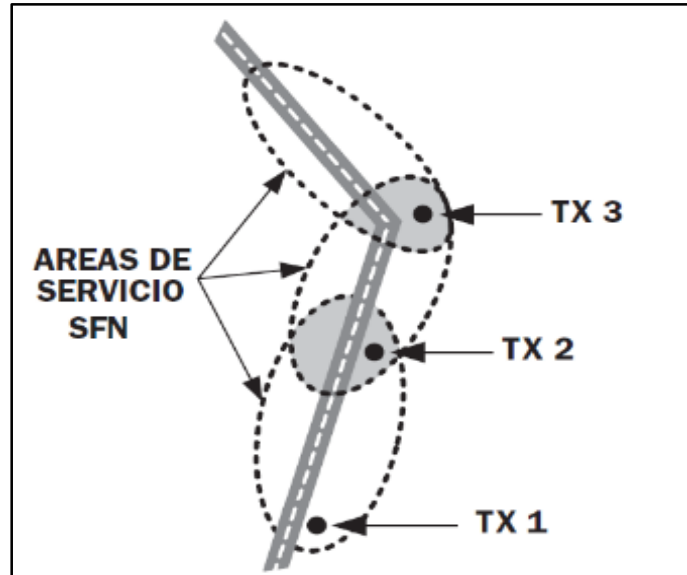
Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

2.2.5.3 Ganancia de red

El efecto de la contribución de varias señales en la señal demodulada por un mismo transmisor es lo que se denomina ganancia de red. Este efecto sucede cuando la señal de 2 transmisores o un transmisor y su eco se solapan sobre una misma área de cobertura. Este solapamiento se muestra en la figura 33. La ganancia de red se refiere a que, si dos señales llegan a un mismo receptor, estas se suman en potencia, si cumplen con las condiciones de operación una red SFN. Esta ganancia resulta en el incremento de la intensidad de campo de la señal en estas áreas de solapamiento. Esto también permite usar menos potencia en algunos transmisores de reforzamiento o repetidores tipo Gap Filler, por lo que contribuye a disminuir el costo de la red ya que los transmisores pueden operar con menor potencia que si trabajara uno solo. (Valdez, 2019)

Figura 33

Solapamiento de áreas de cobertura de transmisores de una red SFN

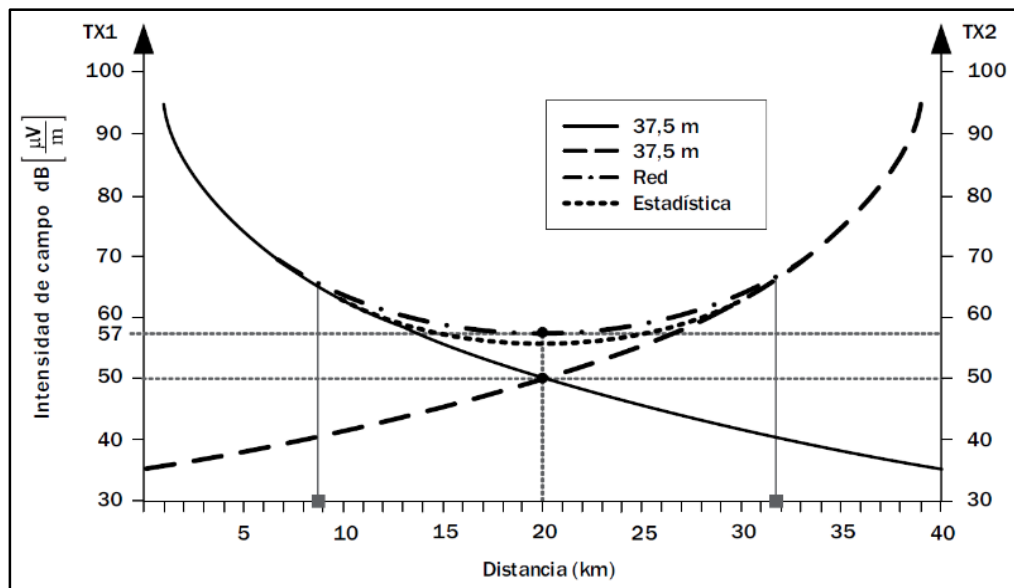


Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

En la figura 34 se muestra un ejemplo de la cuantificación de la ganancia que se obtiene en una red de 2 transmisores simétricamente separados respecto a un receptor, donde la altura de antena de ambos transmisores es de 37,5 metros sobre un terreno plano y además los haces de las antenas están dirigidos en sentidos opuestos. (Piscitotta, Liendo & Lauro, 2013)

Figura 34

Ganancia de red de dos transmisores simétricos



Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

2.2.5.4 Gap Fillers o repetidores

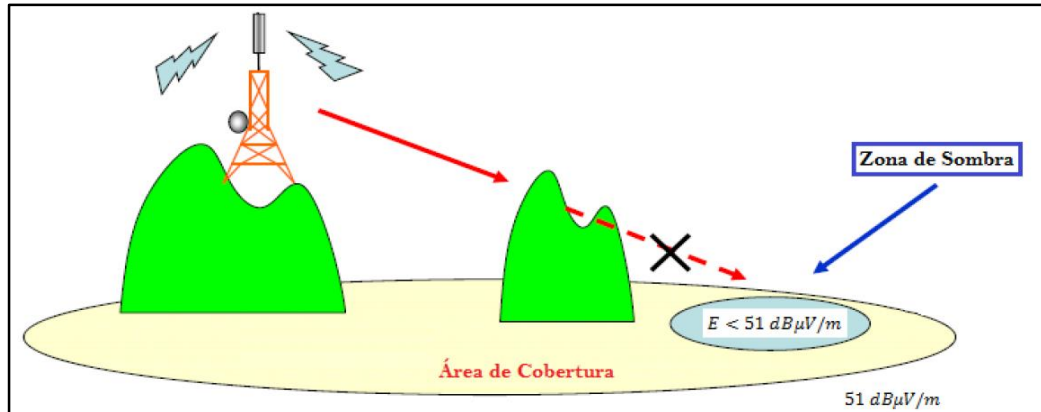
El Gap Filler es un repetidor de la señal de un transmisor principal y que, por lo tanto, no necesita tener un enlace de microondas, ni de fibra óptica, ni mucho menos satelital para tener la señal de la programación del canal. Este dispositivo opera con poca potencia, en comparación con el transmisor principal, lo que evita, además, cualquier tipo de realimentación.

Los Gap Fillers se utilizan cuando se necesita brindar cobertura a áreas con escaso nivel de señal de recepción denominadas zonas de sombra. En otras ocasiones se podrían usar para mantener el servicio a receptores móviles que se desplazan a lo largo de una zona.

Las mencionadas zonas de sombra son áreas geográficas donde hay baja o nula cobertura de un transmisor y que son ocasionadas por obstáculos de su señal como zonas montañosas o edificaciones altas. Normalmente no hay línea de vista entre la zona de sombra y el transmisor. Un ejemplo se muestra en la figura 35, donde se representa una montaña que produce una zona de sombra donde el nivel de recepción es demasiado bajo para garantizar una buena calidad de la señal.

Figura 35

Representación gráfica de las Zonas de Sombra



Nota. Recuperado de Parreño, 2014

Las ventajas de los Gap Fillers son:

- Tienen un bajo costo y bajo consumo de energía porque no emiten mucha potencia, ya que normalmente no superan los 50 Watts.
- Estos dispositivos no necesitan un enlace o red de transporte para recibir la señal, ya que solo requieren estar en un lugar donde haya una buena señal proveniente del transmisor principal de la red.
- Instalación sencilla, porque solo requieren instalar las antenas de transmisión y recepción, conectar las antenas al Gap Filler y proporcionar energía eléctrica para el equipo, debido a que son retransmisores de la señal.

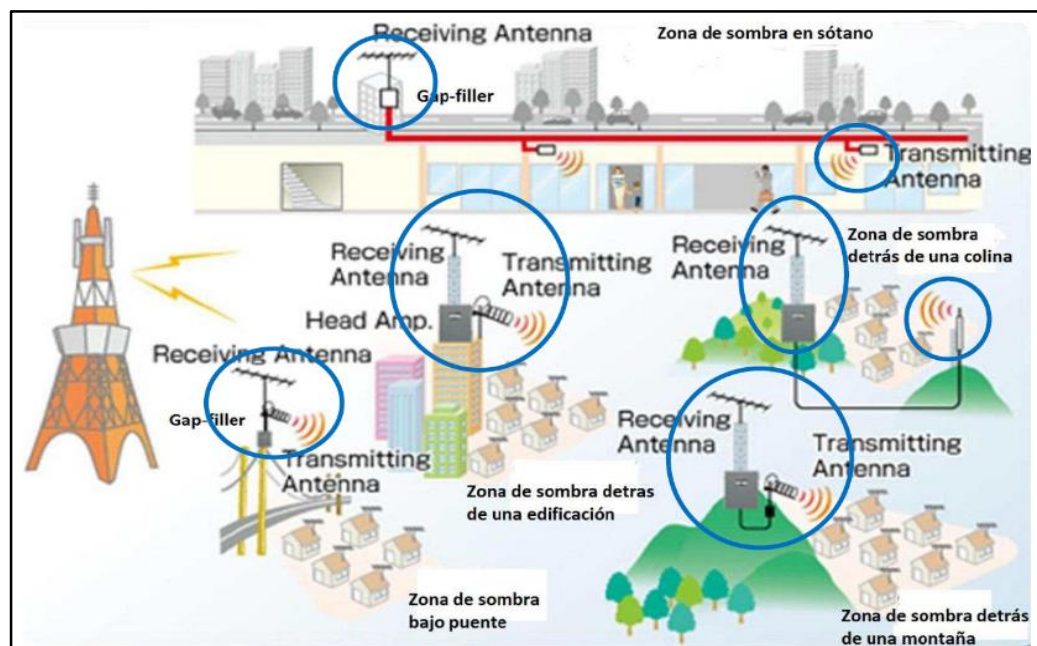
Algunos tipos modernos de Gap Fillers poseen un dispositivo llamado cancelador de ecos, para evitar que la señal de la antena transmisora se reciba en la antena receptora. (Jarrín y Morrejón, 2012)

En la Figura 36 se muestra un esquema de las diferentes formas de una instalación para un Gap Filler o repetidor, donde se recibe la señal del transmisor principal para luego retransmitirla en una zona de sombra que puede estar detrás de un edificio alto, en un sótano, debajo de un puente, detrás de una colina y detrás de una montaña.

La instalación puede depender de la situación de la zona de cobertura, si se no se recibe nada o se recibe algo de la señal del transmisor. El primer caso, cuando hay una recepción nula, como en un sótano, en este caso, la antena receptora está completamente aislada de la antena o antenas transmisoras, la señal se recibe y se retransmite simplemente; en el segundo caso, un cerro o un edificio alto producen que la señal recibida sea muy baja, pero como es un lugar abierto la antena receptora no está totalmente aislada de la antena transmisora; en este caso la señal debe regenerarse antes de transmitirse y además el Gap Filler debe usar un cancelador de ecos. (Jarrín y Morrejón, 2012)

Figura 36

Casos en que se debe utilizar Gap Fillers



Nota. Recuperado de Jarrín y Morrejón, 2012

2.2.5.4.1 Tipos de Gap Fillers

Los Gap Fillers se clasifican por su potencia de transmisión, tal como sigue:

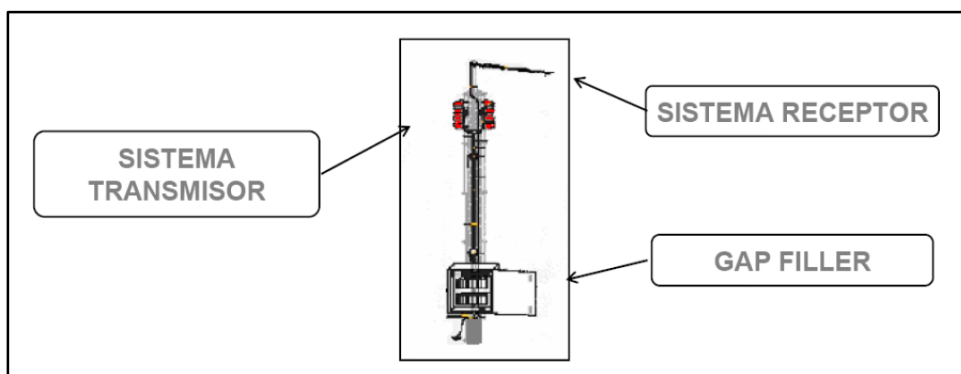
- De potencia baja; de 100mW a 5W RMS.
- De potencia media; de 5W a 25W RMS.

- De potencia alta; son los que tienen una potencia de más de 50W RMS.

En la figura 37 se muestra la posible ubicación de los elementos de un sistema de Gap Fillers donde la antena receptora se ubica con cierta separación de la antena transmisora. El equipo Gap Filler se ubica también separado las antenas, pero en la misma torre. El aislamiento entre las antenas se hace por distancia y por diferente dirección de su máximo patrón de radiación. (Jarrín y Morrejón, 2012)

Figura 37

Aislamiento entre elemento de un Gap Filler



Nota. Recuperado de Jarrín y Morrejón, 2012

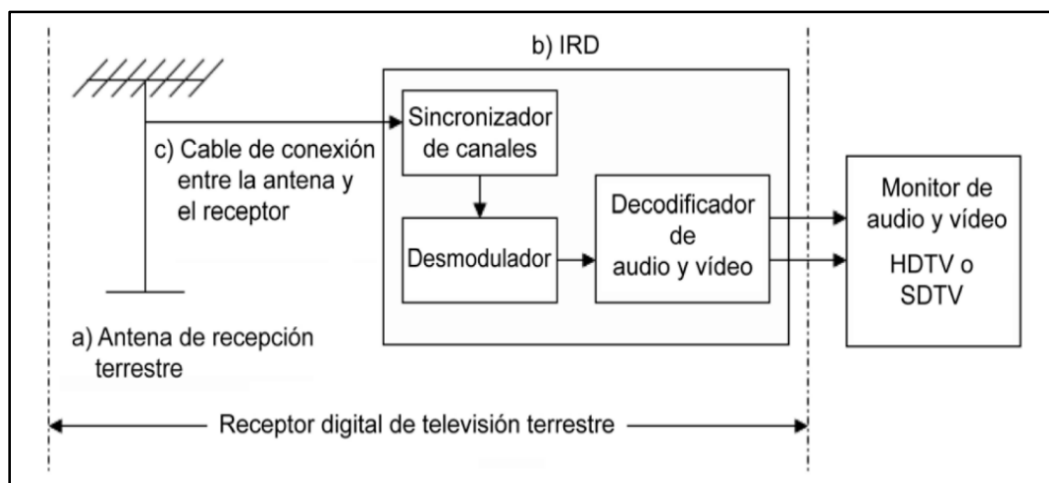
2.2.5.5 Receptores de ISDB-Tb

En el Perú los receptores, al igual que los receptores deben operar dentro del estándar ISDB-Tb. La norma brasileña para los receptores hace recomendaciones a los fabricantes de receptores.

La configuración del receptor debe ser como en la siguiente figura donde se indican 3 unidades básicas: Una antena para TDT, un receptor y el cable que conecta la antena con el receptor.

Figura 38

Configuración de conexión del receptor



Nota. Recuperado de ABNT NBR 15604, 2007

Los receptores pueden tener varias clasificaciones. Pueden ser integrados y no integrados si se refiere a que pueden estar ensamblados junto con un monitor y un sistema de audio dentro de un televisor o si es un equipo externo conectado por cables a un monitor de televisión.

Otra clasificación es si son full seg o one seg. Si captan todas las señales de los 13 segmentos, HD, SD y LD, se trata de un receptor full seg y si captan solo la señal LD se trata de un receptor one seg.

Actualmente lo más común son los televisores con receptores integrados, algunos son full seg y otros solo captan las capas B y C de señales HD y SD.

Los receptores one seg propiamente dichos son raros de encontrar de manera integrada al dispositivo portátil como es el celular u otro como una tablet, pero lo más común es encontrar en el mercado receptores tipo dongle para conectar al celular o dispositivo móvil, en la entrada USB tipo C. Este dongle necesita una aplicación que debe estar instalada en el dispositivo móvil para poder captar las señales de televisión digital, pero tampoco hay muchos de estos receptores en el mercado.

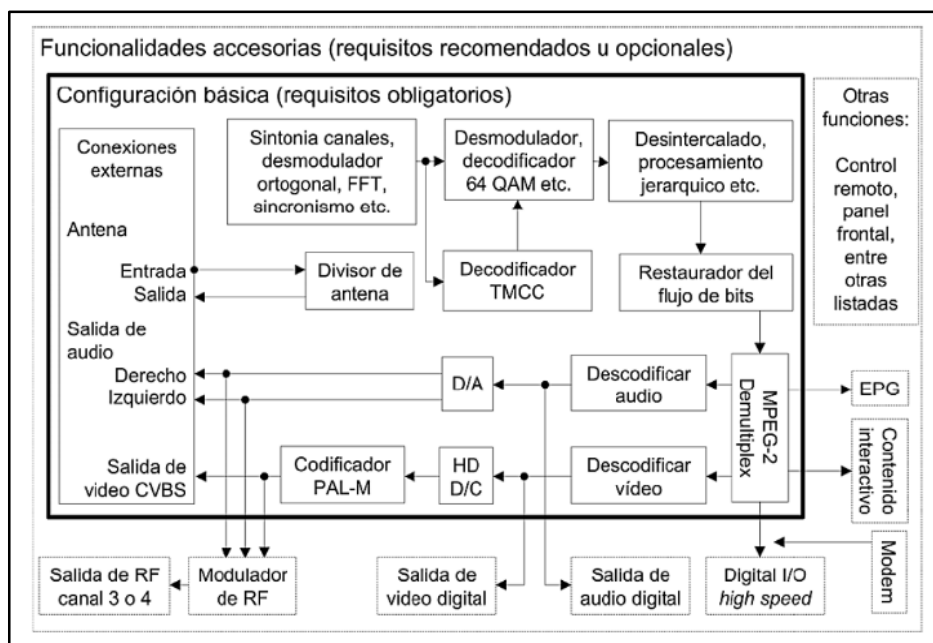
Los primeros receptores que aparecieron para el uso doméstico fueron los Set Top Box, llamado a veces convertidor digital, que en realidad es una especie de “deco” para televisión digital, que necesita cables para conectarse a un monitor de

televisión y poder apreciar la señal de televisión. Para ello cuenta con terminales de salida analógicos y digitales. (Valdez, 2019)

Para tener cierto conocimiento de los módulos que usan los receptores integrados y no integrados, se muestran 2 figuras donde se pueden apreciar los diagramas de bloques. En la figura 39 se muestra un diagrama del llamado receptor Set Top Box y en la figura 40 se muestra el diagrama de un receptor integrado.

Figura 39

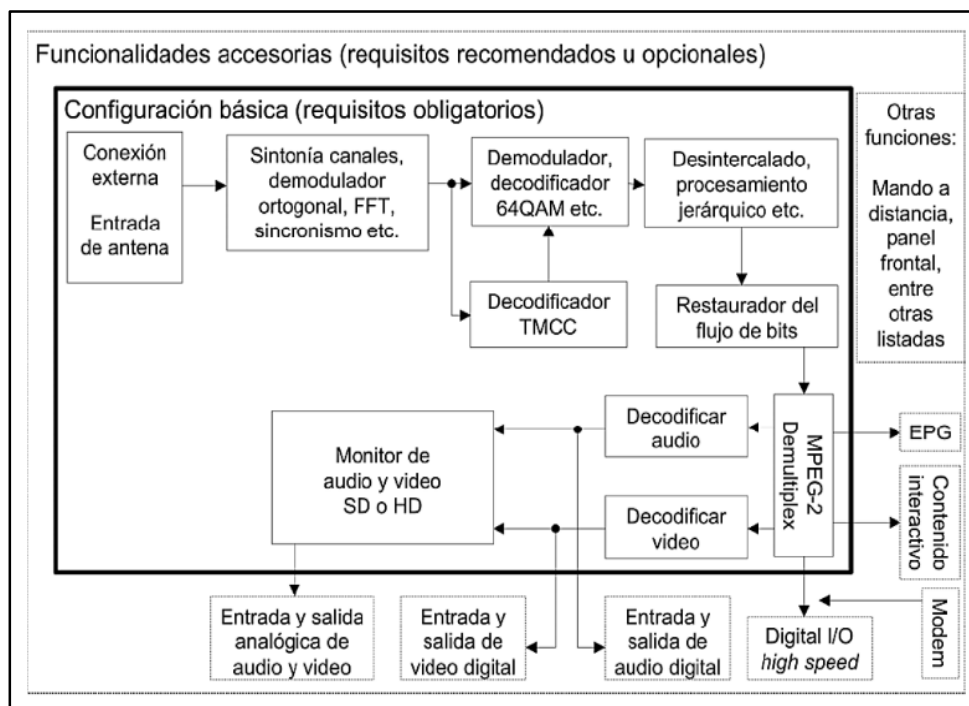
Configuración básica del Set Top Box



Nota. Recuperado de ABNT NBR 15604, 2007

Figura 40

Configuración básica del IRD tipo integrado (ABNT NBR-15604)



Nota. Recuperado de ABNT NBR 15604, 2007

La antena para recepción de TV digital debe cumplir algunos requisitos básicos:

- Principalmente debe ser capaz de recibir canales en la banda UHF de los canales digitales del 14 al 51 en el Perú, para los receptores tipo full seg. Para los receptores tipo one seg debe ser capaz de recibir los canales del 14 al 51.
- Como algo secundario la antena puede recibir los canales analógicos en la banda VHF del 2 al 13 y UHF del 14 al 51.
- Debe tener polarización horizontal y vertical.
- Se recomienda instalar la antena en una parte externa de la vivienda para asegurar la recepción. Además, esta antena debe ser tipo Yagui o tener una ganancia similar a la Yagui de 14 elementos que es de 7dB.
- Si se usa una antena externa, esta debe estar orientada hacia el transmisor, pero si no hay una línea de vista se puede buscar un punto para encontrar un eco de la señal. (ABNT NBR 15604, 2007)

La impedancia de entrada de los receptores tipo integrado en un televisor y Set Top Box debe ser de 75Ω , recomendándose el conector tipo F. En cuanto a los receptores para la señal one seg, la impedancia depende del fabricante del receptor y antena de recepción.

El ancho de banda de los receptores debe cumplir la recomendación ABNT NBR 15601, 2007, donde para los receptores full seg, el ancho es 5.7 MHz y para los dispositivos portátiles es 0,43 MHz.

Según la norma ABNT NBR 15604, el valor mínimo de sensibilidad de un receptor es 77dBm, pero debido a las condiciones de interferencia de canales adyacentes se toma recomienda un nivel de intensidad de campo de 60 dB μ V/m para canales de TV digital terrestre. Si se trata de un tema de planificación de un canal de TDT, la norma ABNT NBR recomienda como parámetro de cobertura una intensidad de campo de 51 dB μ V/m utilizando una antena externa, en el caso de una antena interna se recomienda un valor de 66.31 dB μ V/m. (ABNT NBR 15604, 2007)

2.2.6 Propagación

2.2.6.1 Propagación en el espacio libre y en el entorno terrestre

La propagación de la señal transmitida por un canal de TV digital terrestre tiene un comportamiento similar a los otros sistemas de comunicaciones inalámbricas. Por ello se realizará una revisión de los principales modelos matemáticos al respecto.

Siguiendo el modelo de un sistema de comunicaciones electrónico, entre un transmisor y un receptor existe un canal de comunicaciones donde hay una ecuación básica que es de la pérdida o atenuación de la señal en el espacio libre que es:

$$L_{fs} = \frac{P_T}{P_R} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (16)$$

Si expresamos esta ecuación en función de su frecuencia, debemos tener en cuenta la ecuación de la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (17)$$

Entonces tenemos:

$$L_{fs} = \frac{P_T}{P_R} = \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 \quad (18)$$

Para un sistema con antenas diferentes a la isotrópica, es decir antenas reales, se tiene la anterior ecuación de la siguiente manera:

$$L_{fs} = \frac{P_T}{P_R} = \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 \left(\frac{1}{G_T \cdot G_R} \right) \quad (19)$$

$$L_{fs}(dB) = 32.44 + 20 \log(f) + 20 \log(d) - G_T - G_R \quad (20)$$

También es posible expresar la ecuación mencionada en base a las áreas efectivas de las antenas:

$$L_{fs} = \frac{P_T}{P_R} = \frac{(\lambda \cdot d)^2}{A_T \cdot A_R} = \frac{(c \cdot d)^2}{f^2 \cdot A_T \cdot A_R} \quad (21)$$

$$L_{fs} = -20 \log(f) + 20 \log(d) - 10 \log(A_T A_R) + 169.54 \text{ dB} \quad (22)$$

Donde:

- L_{bf} = pérdidas básicas
- P_R = potencia recibida
- P_T = potencia transmitida
- f = frecuencia (MHz)
- d = distancia entre dos antenas (km)
- G_T = ganancia de la antena transmisora
- G_R = ganancia de la antena receptora
- A_T = área efectiva de la antena transmisora
- A_R = área efectiva de la antena receptora

(Stallings, 2004)

Estas ecuaciones son modelos de comportamiento de la señal en condiciones ideales. Como se trata un caso de un transmisor enviado su señal a varios cientos de receptores fijos y móviles, se puede estimar el campo eléctrico mediante la siguiente ecuación:

$$e = \frac{\sqrt{30p}}{d} \quad (23)$$

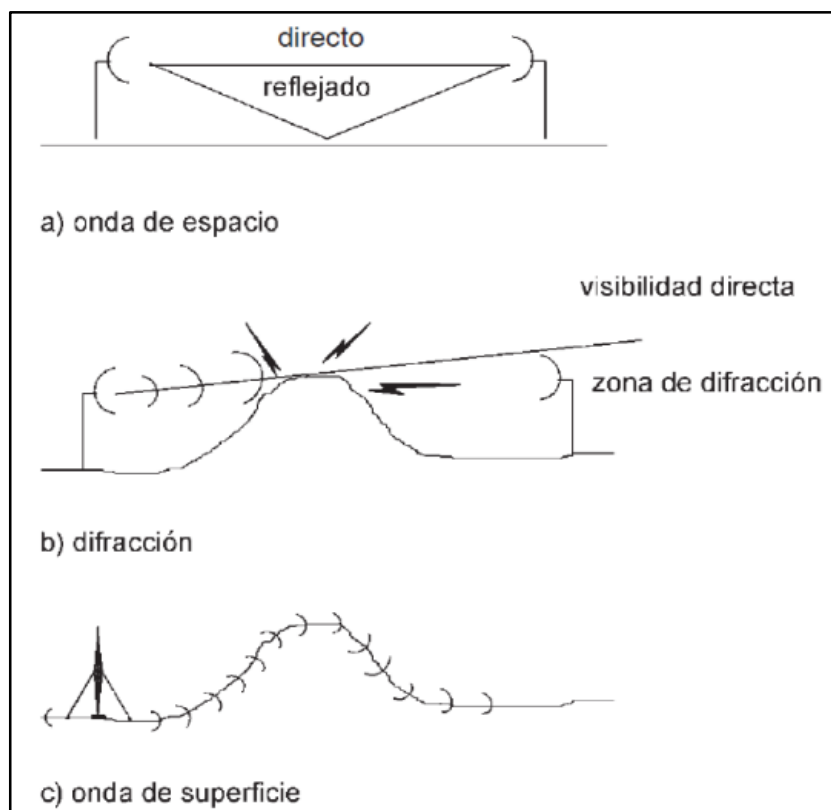
Donde:

- e es la intensidad de campo eficaz (V/m)
- p es el PIRE potencia isotrópica radiada equivalente del transmisor en la dirección del punto considerado (W)
- d = distancia del transmisor al punto considerado (m)

Cuando una onda electromagnética se propaga en el espacio puede ser afectada por la superficie esférica de la tierra y por obstáculos morfológicos. Cuando la onda se propaga de manera directa y por reflexión en la superficie de la tierra, se habla de una onda de superficie, que, dependiendo de la fase de ambas ondas directa y reflejada, pueden destruirse o sumarse entre ellas. En la figura 41 se pueden apreciar los diversos casos de la propagación de una onda electromagnética.

Figura 41

Efecto de la Tierra en la propagación



Nota. Recuperado de Valdez, 2019

2.2.6.2 Propagación por difracción

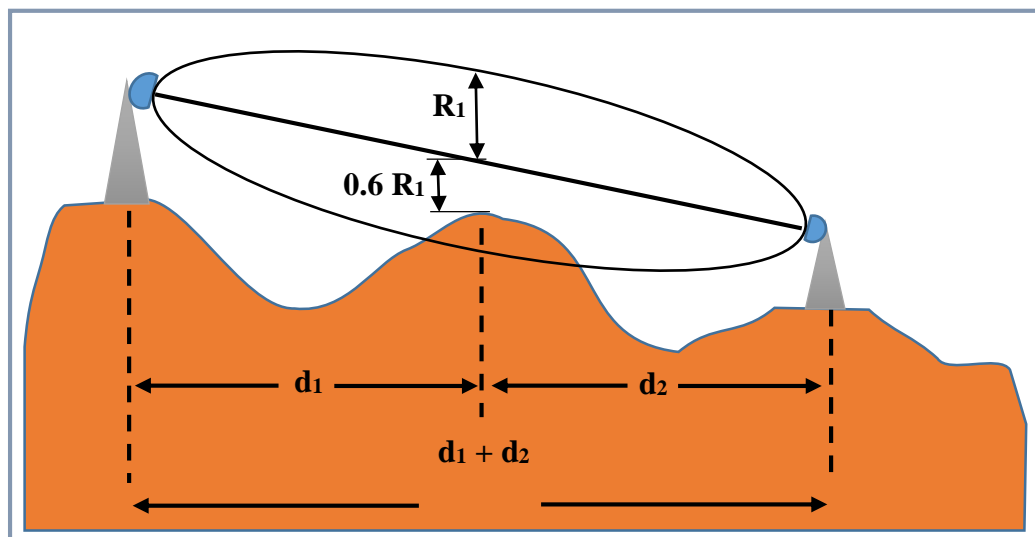
El fenómeno de difracción se puede producir por la esfericidad de la Tierra o por la presencia de obstáculos limitan la visibilidad entre la antena transmisora y receptora. Cuando la onda electromagnética incide sobre un obstáculo, se produce la difracción de la onda; así el mismo obstáculo irradia parte de la energía en diferentes direcciones. Gracias a la difracción, se puede recibir señal aún sin línea a la vista (o visión directa) entre las antenas; pero de todas maneras se produce una atenuación adicional a la del espacio libre.

En un sistema de comunicaciones inalámbrico es deseable tener visión directa o línea de vista (*Line Of Sight*, LOS) pero si no se cumple esta condición ocurren pérdidas en el enlace.

Para determinar matemáticamente si hay o no una buena línea de vista se utiliza el concepto denominado Zonas de Fresnel, donde se trazan unos elipsoides concéntricos al rayo directo del enlace entre un transmisor TX y un receptor RX.

Figura 42

Primera zona de Fresnel



Nota. Elaboración propia

Las zonas de Fresnel son elipsoides imaginarios donde el eje mayor tiene una longitud de $R+n\lambda/2$. El radio R_n de las zonas de Fresnel con respecto a la dirección recta entre el transmisor y receptor se pueden calcular teniendo en cuenta las distancias d_1 y d_2 :

$$R_n = \sqrt{n\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (24)$$

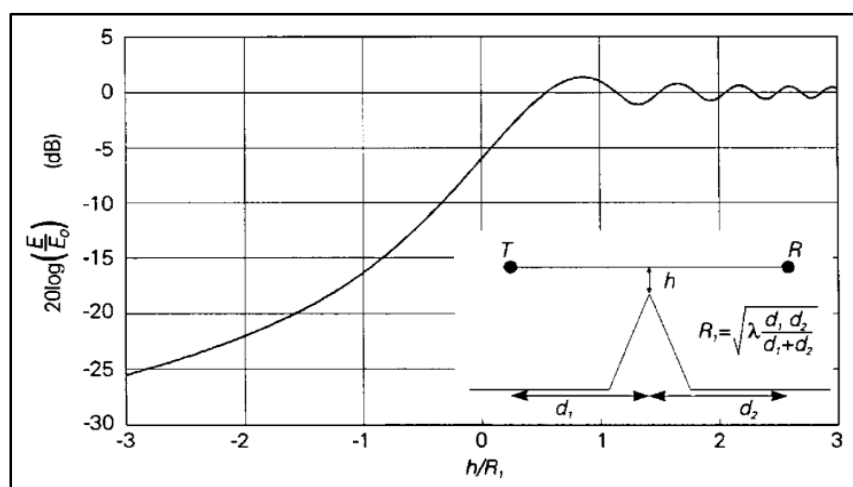
Para calcular la primera zona de Fresnel se considera n igual a 1. Este cálculo es muy importante, porque se pueden presentar atenuaciones importantes en el enlace. Por esta causa se debe hacer una buena planificación del radioenlace para asegurar que la primera zona de Fresnel no tenga obstáculos en su línea de vista. Puede haber muchas formas de lograr ello, desde elegir buenas ubicaciones hasta utilizar torres de antenas más altas.

Generalmente se toma como consideración que el trayecto de la línea de vista entre el transmisor y receptor debe estar despejada por lo menos en un 60% con cualquier obstáculo en todo el recorrido del enlace.

Para calcular la pérdida adicional que genera la difracción se usa la curva de la figura 43, modelada para un obstáculo de un tipo denominado filo de navaja, en función de una distancia h entre la línea de trayectoria y el obstáculo, normalizada al radio (R_1) de la primera zona de Fresnel.

Figura 43

Pérdidas de difracción por aristas



Nota. Recuperado de Valdez, 2019

2.2.6.3 Modelos de Propagación

Los modelos de propagación son conjuntos de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos que se usan para predecir las pérdidas de potencia, entre el transmisor y el receptor, de la señal electromagnética. Los modelos de propagación se clasifican en empíricos, estadísticos, determinísticos o teóricos, e inclusive combinaciones de ellos. Algunos de estos modelos se aplican mejor que otros en áreas rurales o en áreas urbanas.

Existen gran variedad de modelos de propagación, inclusive se pueden crear modelos nuevos pero los más conocidos y referenciados son el Modelo Okumura Hata, el Modelo Walfish-Bertoni, el Modelo Walfish-Ikegami, incluso hay modificaciones de estos modelos. Además, se deben mencionar los modelos recomendados por el ABNT-NBR de Brasil para el estándar ISDB-Tb, que son la Recomendación UIT-R P.1812-4 y la Recomendación UIT-R P.1546.

Se van a mencionar algunos de estos modelos.

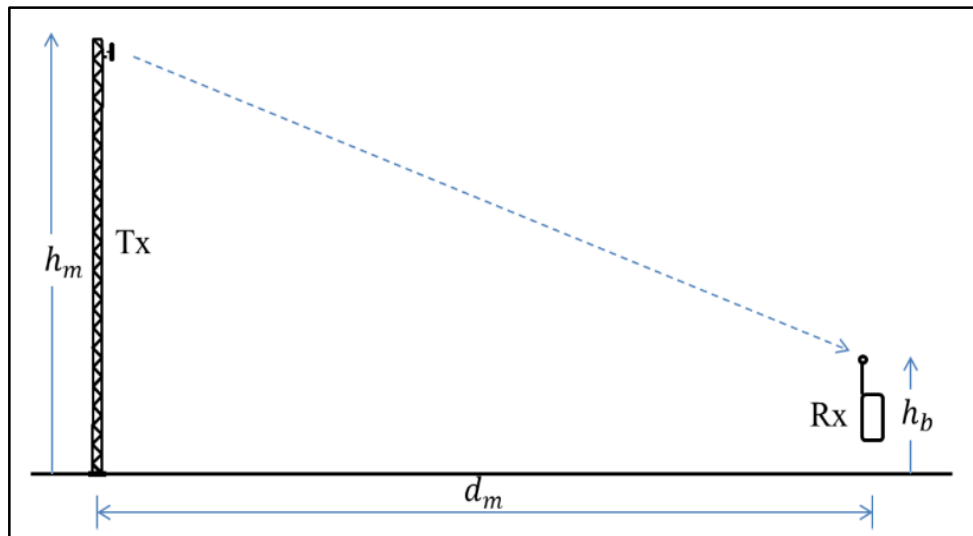
2.2.6.3.1 Modelo de Okumura-Hata

Es un modelo empírico válido de 150 MHz a 1.5 GHz, fundamentado en los datos de pérdidas por propagación de Okumura. Hata fue quien estableció las relaciones matemáticas del método gráfico de Okumura. El modelo debe cumplir:

- La altura de las antenas de transmisión debe de ser de 30 m a 200 m.
- La antena receptora debe estar entre 1 m a 10 m.
- La distancia entre 1 km y 20 km.

Figura 44

Parámetros del modelo Okumura-Hata



Nota. Recuperado de Valdez, 2019

La expresión matemática básica del modelo es la siguiente:

$$L_{b(\text{urbano})}(\text{dB}) = 69.55 + 26.6 \log f - 13.83 \log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d_m \quad (25)$$

Donde:

- L_b = pérdida básica
- f = frecuencia de la portadora en MHz
- h_m = altura de la antena transmisora en metros
- h_b = altura de la antena receptora en metros
- $a(h_m)$ = factor de corrección por la altura efectiva del móvil que es función del área en servicio.
- d_m = distancia entre el transmisor y el receptor en km

El valor de $a(h_m)$ varía para los diferentes entornos urbanos, ciudades pequeñas, medianas, grandes, para áreas suburbanas y para áreas rurales.

Este modelo funciona bien para entornos urbanos y suburbanos, pero no en áreas rurales. (Valdez, 2019)

2.2.6.3.2 Modelo COST 231

Este modelo es la evolución del modelo Okumura hasta aumentando el rango de frecuencias hasta 2 GHz. Este modelo tiene la siguiente ecuación básica de pérdida en el espacio libre:

$$L_b(dB) = 46.3dB + 33.9 \log f - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d_m + c_m \quad (26)$$

El modelo Cost 231 es válido para frecuencias desde 800 MHz hasta 2 GHz, por lo que no se puede aplicar en el estudio presente debido a que las transmisiones de TDT en el Perú son hasta los 700 MHz. (Yaguana, 2018)

2.2.6.3.3 Recomendación UIT-R P.1546

Este modelo es del tipo semi-empírico, válido para frecuencias de 30 MHz hasta 3 GHz que se recomienda para servicios de radiodifusión sonora y de televisión, siempre que no se disponga de cartografía precisa ni se necesite calcular a distancias superiores a 100 Km. (Valdez, 2019)

La Recomendación UIT-R P.1546 describe un método de predicción de propagación radioeléctrica punto a zona para servicios terrenales en:

- Frecuencias desde 30 MHz a 3 GHz.
- Distancia entre transmisor y receptor entre 1 a 1000 km.
- Alturas de antena de transmisión efectivas menores de 3 Km.
- Altura de antenas receptoras mayores a 1 m en trayectos terrestres y mayores a 3 m en trayectos marinos.

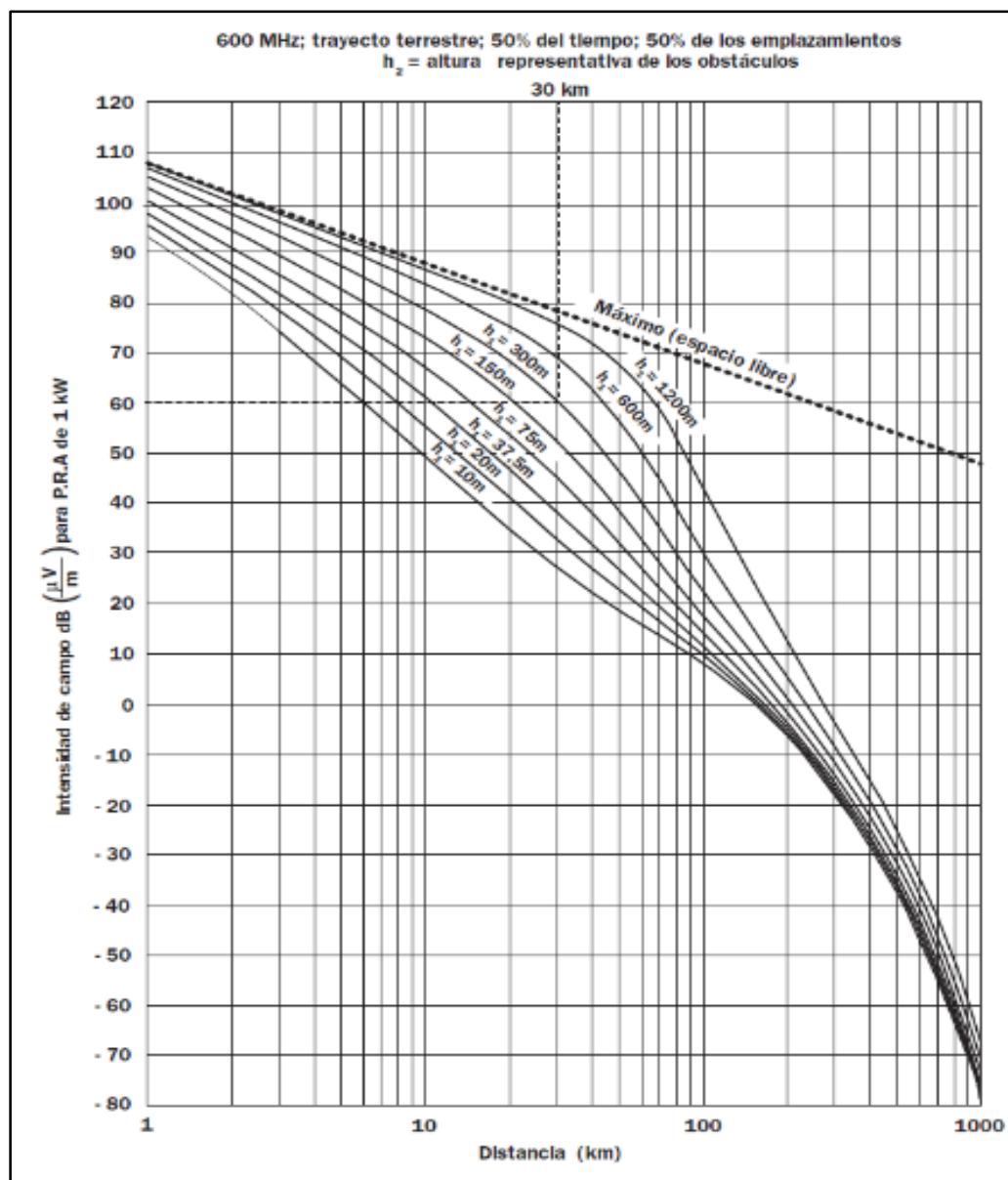
Para el cálculo de la intensidad de campo se usan diferentes curvas que se obtienen mediante la interpolación y extrapolación de datos, a las cuales se aplican factores de corrección y además se toman en consideración otras condiciones de las características del terreno.

Para el cálculo de las curvas se requieren algunos datos como la altura efectiva del transmisor h_1 , la altura del receptor h_2 , la distancia del transmisor al receptor en kilómetros, la frecuencia de operación, el porcentaje de tiempo de medición y el porcentaje de ubicaciones de medición.

Las curvas se determinan para diferentes valores de altura h_1 entre 10 y 1200 metros y además para diferentes condiciones y datos. Por ejemplo, para las curvas de la figura 45 se han tenido en cuenta una frecuencia de 600 MHz, una potencia P.R.A. de 1 Kw, un trayecto terrestre, 50% de porcentaje de tiempo y 50% de porcentaje de emplazamientos.

Figura 45

Curvas de Recomendación UIT-R P.1546-4



Nota. Recuperado de Valdez, 2019

2.2.6.3.4 Recomendación UIT-R P.1812

Es un modelo determinístico empleado para servicios de radiodifusión, que se caracteriza por analizar detalladamente el perfil del terreno cuando se pueda disponer de cartografía de media o alta resolución, cuando no se dispone de ésta, se debe usar la recomendación UIT-R P.1546. Este método es válido para:

- Frecuencias de 30 MHz a 3 GHz
- Altura de antenas hasta 3000 metros.
- Distancia entre transmisor y receptor de 0,25 a 3000 km

Este método se utiliza para evaluar con detalle, y en función del terreno, la intensidad de campo eléctrico teniendo en consideración un porcentaje de tiempo hasta el 50% y un porcentaje de locaciones hasta el 99 %, teniendo en cuenta que se debe contar con una gran cantidad de datos de información del perfil del terreno.

Los datos básicos para realizar cálculos con este método, aparte de la frecuencia, altura de antenas y distancia entre transmisor y receptor se muestran en la tabla 15.

Tabla 15

Otros datos básicos para cálculos

Parámetro	Límites	Descripción
p en %	de 1 a 50	Porcentaje medio anual en que se rebasa el nivel de señal calculado
p_L en %	de 1 a 99	Porcentaje de ubicaciones para las que se rebasa el nivel de señal calculado
φ_t, φ_r en grados	de -80° a $+80^\circ$	Latitud del transmisor, receptor
ψ_t, ψ_r en grados	de -180° a $+180^\circ$	Longitud del transmisor, receptor (positiva = al Este de Greenwich)
Polarización		Polarización de la señal, por ejemplo, vertical u horizontal

w_s en m	de 1 a 100	Ancho de la calle. Normalmente se usa el valor de 27.
------------	------------	---

Nota. Recuperado de Valdez, 2019

Además de los datos mencionados anteriormente y de la tabla, se requiere conocer la ganancia de las antenas, el perfil del terreno y otros. Con todos esos datos se realizan varios cálculos de parámetros secundarios mediante ecuaciones para predecir la intensidad de campo eléctrico.

Las pérdidas de propagación básicas se dan en la siguiente ecuación:

$$L_{bfs} = 92.44 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (27)$$

Las correcciones por efectos de propagación multitrayectos y porcentajes de tiempo p se calculan con la siguiente ecuación:

$$E_{sp} = 2.6 \left[1 - e^{-\frac{d_{lt} + d_{lr}}{10}} \right] \log \left(\frac{p}{50} \right) \quad (28)$$

Estos dos cálculos se usan para calcular las pérdidas de transmisión en un enlace con visibilidad directa:

$$L_{vd} = L_{bfs} + E_{sp} \quad (29)$$

Aquí el porcentaje p debe ser inferior al 50%, las distancias de las antenas de transmisión y recepción a sus horizontes son d_{lt} y d_{lr} en kilómetros.

Las pérdidas por difracción se calculan mediante el método Delta-Bullington para todo tipo de trayecto por mar, tierra costera o tierra interior para un porcentaje de tiempo del 1 al 50%.

$$L_d = L_{bulla} + \max\{L_{dsph} - L_{bulls}\} \quad (30)$$

Aquí:

L_{bulla} es la pérdida por difracción de Bullington para un trayecto real.

L_{dsph} es la pérdida por difracción de la tierra esférica.

L_{bulls} es la pérdida por difracción de Bullington para un trayecto liso.

Las pérdidas por dispersión troposférica se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$L_{dt}(dB) = 109.1 + L_f + 20 \log(d) + 0.573\theta - 0.15N_0 - 10.125 \left(\log \left(\frac{50}{p} \right) \right)^{0.7} \quad (31)$$

Aquí N_0 es la refractividad de la superficie a nivel del mar medido en el punto central del trayecto, θ es la distancia angular del trayecto y L_f son las pérdidas debidas a la frecuencia que se calculan como:

$$L_f(dB) = 25 \log(f) - 2.5 \left(\log \left(\frac{f}{2} \right) \right)^2 \quad (32)$$

También hay otras pérdidas como las debidas a la variabilidad de ubicaciones, pérdidas por ocupación del suelo, pérdidas debidas a la penetración en edificios que se dan como desviaciones típicas mediante tablas; todas ellas se agregan a las anteriores pérdidas para obtener el valor de la intensidad de campo eléctrico. (Yaguana, 2018)

2.2.6.3.5 Recomendación UIT-R P.526

Esta recomendación presenta varios modelos que calculan la intensidad de campo considerando el efecto de la difracción aplicada a diversos tipos de obstáculos y diversas geometrías de la dirección de propagación de la señal radioeléctrica.

Los tipos de terreno que se consideran en esta recomendación son 3:

a) Terreno liso: Es un tipo de terreno donde las irregularidades del terreno son del orden de $0,1R$ o inferiores a ese valor, donde R corresponde al máximo valor del radio de la primera zona de Fresnel en el trayecto de propagación.

b) Obstáculos aislados: Es un tipo de terreno donde hay uno o más obstáculos aislados en el trayecto del enlace.

c) Terreno ondulante: Es un terreno donde hay varias colinas pequeñas que no son un gran obstáculo para la señal.

El cálculo del valor de la intensidad de campo por difracción E viene dado por una ecuación con respecto a la intensidad de campo en el espacio libre E_0 :

$$20 \log \left(\frac{E}{E_0} \right) = F(X) + G(Y_1) + G(Y_2) \quad (dB) \quad (33)$$

Donde X es la longitud normalizada del trayecto entre las antenas de alturas normalizadas $Y1$ y $Y2$. El valor de E/E_0 es normalmente negativo.

Cuando hay línea de vista y se considera que se analiza sobre una tierra esférica, todos los puntos del trayecto de la señal están por debajo del 60% de la primera zona de Fresnel. Entonces consideramos que la atenuación de la onda electromagnética es cero y las pérdidas por difracción se pueden calcular por la siguiente fórmula en función de la primera zona de Fresnel:

$$A(dB) = \left[1 - \frac{5}{3} \frac{h}{R_1} \right] A_h$$

Donde h es el trayecto libre entre 0 y $0.6R_1$ y A_h representa las pérdidas por difracción en el horizonte radioeléctrico. (Aptica. Xirio-Online, 2022)

Cuando se considera un terreno con obstáculos aislados se hacen correcciones a los cálculos anteriores cuando se presentan diversas condiciones:

- Obstáculo único en arista en filo de cuchillo.
- Obstáculo único de forma redondeada.
- Dos aristas aisladas.
- Cilindros en cascada.
- Aristas en filo de cuchillo en cascada.

En el caso del terreno ondulante se prefiere utilizar un análisis de la propagación con la recomendación UIT-R P.1546 para predecir la intensidad de campo eléctrico.

2.2.7 Software de Simulación

2.2.7.1 Introducción

Actualmente hay muchos softwares de simulación de propagación electromagnética, algunos gratuitos y otros de pago. Con estos softwares se pueden determinar enlaces de diversos tipos, predecir áreas de cobertura y calcular muchos otros parámetros de redes de radiofrecuencia.

Dentro de los softwares de simulación de propagación electromagnética más conocidos y encontrados en diferentes investigaciones tenemos al EMLAB, Radiomobile, Xirio Online, Sirenet, ICS TELECOM y otros.

En el caso de esta investigación se utilizará el Xirio Online como software de planificación o simulación de la propagación de la señal de TDT según la norma japonesa-brasileña, aunque en el caso de la simulación de la cobertura de la señal de un canal de televisión en el estándar ISDB-TB es igual que simularlo en el estándar original japonés ISDB-T.

Además, se debe indicar que los softwares XIRIO Online y Sirenet pertenecen a la misma empresa llamada Aptica que utiliza XIRIO Online para brindar un servicio gratuito y Sirenet para un servicio pagado. En esta investigación se utilizará el software XIRIO Online, debido a que el costo de usar Sirenet es demasiado elevado y está restringido a ciertas instituciones que puedan pagar el precio de su uso está sobre los miles de dólares.

2.2.7.2 XIRIO Online

XIRIO Online es un software en línea que permite calcular parámetros radioeléctricos utilizando la cartografía con la que trabaja el mismo programa. (Aptica. Xirio-Online, 2022)

XIRIO Online es un software de versión libre que no requiere ser instalado en la computadora porque es accesible desde cualquier explorador de internet. Esta herramienta cuenta con dos módulos de funcionalidad:

- **Planningtool:** Es el módulo donde se puede hacer una planificación radioeléctrica mediante el cálculo de parámetros y análisis de cobertura e inclusive interferencia de una estación radioeléctrica hasta planificación de redes.
- **Shareplace:** Es el módulo que permite a los usuarios de XIRIO Online publicar los resultados de los estudios que hayan realizados, de esta manera se puede compartir los diversos trabajos hechos en esta plataforma con otros usuarios y hasta clientes. (Valdez, 2019)

2.2.7.2.1 Proceso de simulación de propagación

XIRIO Online permite realizar estudios de planificación para distintos tipos de servicios radioeléctricos, en cada uno de los cuales se presentan diferentes opciones donde cada usuario puede configurar los parámetros de los estudios que se deseen realizar de manera muy particular.

2.2.7.2.2 Requisitos del software de simulación

Para poder realizar una simulación con el XIRIO Online, este software debe estar configurado adecuadamente y poder operar con diversas otras herramientas, algunas veces con la necesidad de conexión a internet. Para ello el software dispone de cartografía y métodos de cálculo promovidos por recomendaciones internacionales.

- **Cartografía:** este tipo de redes requiere del empleo de cartografía rural, modelos del terreno de entre 100 y 25 m de resolución. Se puede determinar el efecto de recepción dentro de zonas urbanas utilizando capas de morfografía que asocien pérdidas a estas áreas o bien capas de altimetría urbana con detalle de edificios.
- **Métodos de cálculo:** Son los modelos internacionales para el cálculo de propagación de la señal radioeléctrica de los diversos servicios de radiodifusión que varían de acuerdo a los cálculos que se necesiten hacer y el lugar donde se van a realizar la planificación de dicho servicio. Los más empleados son UIT-R P.526, UIT-R P.1546, Okumura Hata Modificado, UIT-R P.1812. Estos métodos son recomendaciones, pero no siempre se aplican con total exactitud a todos los lugares o tipos de entornos. (Valdez, 2019)

2.2.7.2.3 Parametrización de estaciones

- **Umbral de recepción:** Este parámetro es muy importante para la planificación de servicios radioeléctricos. El umbral se mide en los

receptores como intensidad de campo eléctrico internacionales, siendo habitual trabajar en términos de campo eléctrico. El software nos permite trabajar con distintos valores de umbral de recepción, incluso se pueden introducir factores de corrección asociados al terreno.

- **Sistemas radiantes:** Son los sistemas de antenas que utilizan los diversos sistemas de radiodifusión, las cuales generalmente están compuestos de uno o más elementos radiantes que configuran un arreglo con características de emisión particulares. (Valdez, 2019)

2.2.7.2.4 Planificación de redes

- **Orientación de los receptores:** Los receptores de un sistema de radiodifusión tienen generalmente sus antenas orientadas a los transmisores. Esta orientación es importante cuando la antena de recepción es directiva.
- **Mejor servidor por señal:** En el caso de una red con varios transmisores se puede considerar disponer de un criterio para considerar a un transmisor como mejor servidor en cada punto. Para este caso todos los transmisores deben tener el mismo umbral de recepción.
- **Solapamiento:** El solapamiento puede ocurrir cuando 2 o más estaciones llegan a cubrir una misma zona en forma parcial o total. Así se deben considerar los parámetros de frecuencia cuando se trate de un estudio de multicobertura de una red de frecuencia única. (Valdez, 2019)

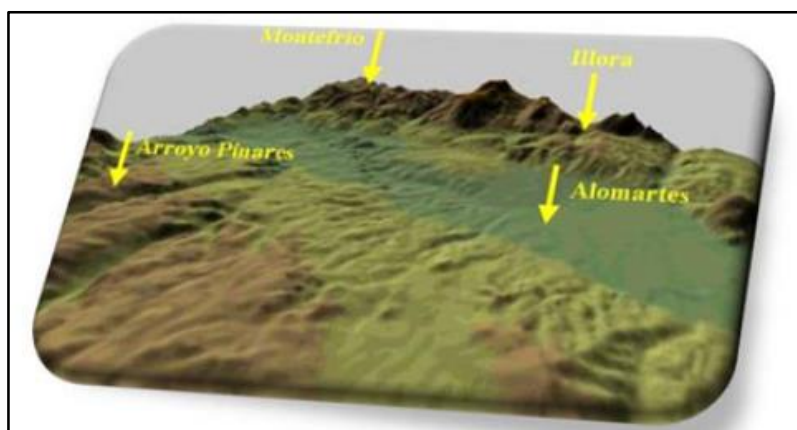
2.2.7.2.5 Capas de cartografía

XIRIO Online, requiere tener como mínimo información de la altura del terreno donde se realiza el estudio. En algunos casos también se debe tener información del uso del suelo. Por ello el software dispone de 5 tipos de capas de cartografía para realizar la planificación radioeléctrica. Estas capas son:

- **Capa MDT o de altimetría:** Es una capa donde se tiene información sólo del nivel de altura del terreno sin considerar edificios y vegetación. En esta capa se asigna a cada píxel un valor de altura sobre el nivel del mar. El MDT o modelo digital de terreno está indicado el estudio de redes de radiodifusión, móviles o acceso a banda ancha para entornos urbanos se modelan añadiendo pérdidas de clutter o por distintos umbrales de acuerdo al tipo del entorno.

Figura 46

Modelo MDT

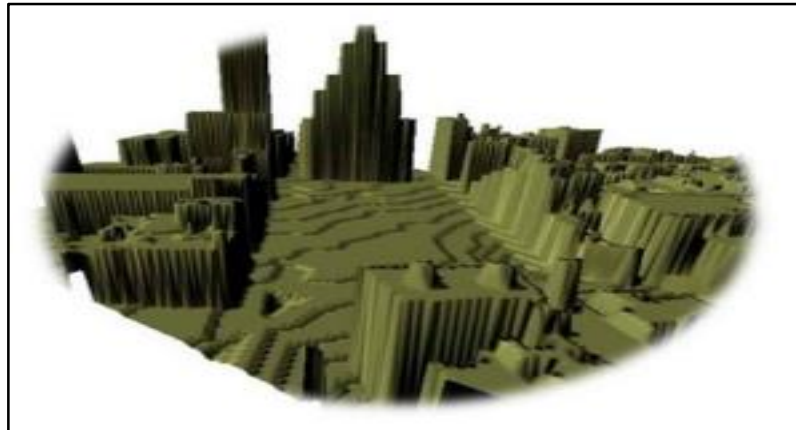


Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

- **Capa MDE o de elevación:** Es un modelo que añade a la capa MDT una información de la altura de los edificios en entornos urbanos y con alta resolución, por eso se llama Modelo Digital de Edificios, por eso es apropiado para cálculos en ciudades. No se dispone de cartografía MDE para ciudades en el Perú.

Figura 47

Modelo MDE

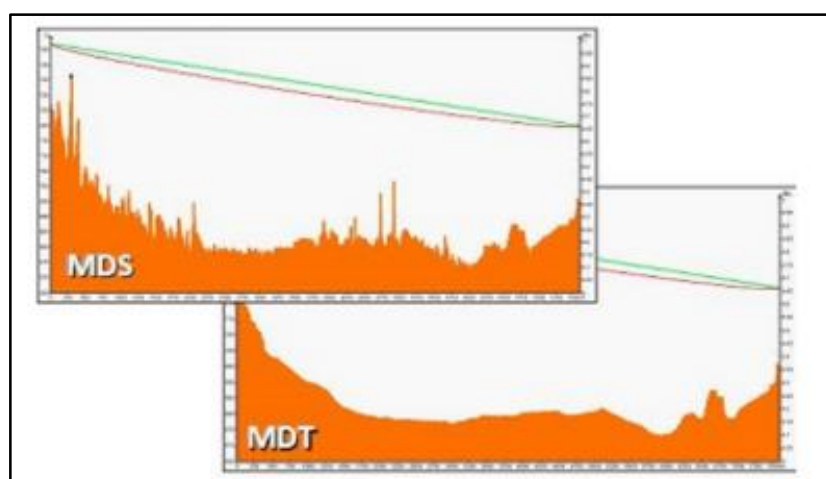


Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

- **Capa MDS:** Es un modelo que añade a la capa MDT una información de la altura de los edificios, vegetación, torres de alta tensión y otros tipos de infraestructura en entornos urbanos y rurales. El Modelo Digital del Suelo (MDS) es adecuado para el estudio de redes de transporte, por ejemplo, redes de microondas donde brinda excelente información de obstrucciones en el enlace. (Aptica. Xirio-Online, 2022)

Figura 48

Modelo MDS



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

- **Capa morfológica:** En esta capa, cada píxel pertenece a una categoría de uso del suelo. Esta categoría tiene una serie de atributos que pueden modificar la señal de radio que llega a un punto, como el tipo de suelo por permisividad y conductividad, pérdidas adicionales o por el incremento de cotas debidas, por ejemplo, a la presencia de un bosque.
- **Capa administrativa:** Es una capa usada para conseguir datos estadísticos de cobertura, interferencia y otros. Es una capa vectorial que contiene un conjunto de polígonos que representan regiones geográficas como una provincia, un distrito o un núcleo de población. (Aptica. Xirio-Online, 2022)

2.2.7.2.6 Parámetros del estudio de cobertura

XIRIO Online es un software muy amigable para configurar los diversos parámetros que se necesitan para calcular los diversos servicios que puede brindar. Se puede configurar los parámetros de potencia y sistema irradiante de transmisión y recepción. En el caso del presente estudio solo necesitamos configurar estudios cuando trabajamos solamente con el transmisor principal o cuando trabajamos con transmisor y repetidor, es decir con una red SFN.

En las figuras 49, 50, 51 y 52 se muestran las capturas de pantalla del software para un estudio de cobertura.

Figura 49

Menú de propiedades del estudio de cobertura

Propiedades del estudio de Cobertura

Estudio

Nombre: Cobertura Canal 9 Tacna

Grupo: AMÉRICA TELEVISIÓN

Servicio: sistema M NTSC- BIII

Banda: + -

Descripción:
Estudio de cobertura...

Fecha de última puesta en servicio/apagado: 22/04/2020 31

Estado: bien

Extremos

Transmisor: transmisor Canal 9 [icon] [icon] [icon] [icon]

Parámetros de recepción: [icon] [icon] [icon]

Parámetros de cálculo

Área del cálculo

Rangos

Aceptar Aplicar Recargar Cancelar

Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Figura 50

Menú de propiedades del transmisor

Propiedades del transmisor

Transmisor

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento: + -

Coordenadas 📍 📏 📐 📱 🌐 📊

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio

Antena: 📄 ✖ 📱 📏

Altura antena: m

Orientación: °

Inclinación mecánica: °

Inclinación eléctrica: °

Referencia de alturas de antenas

Alturas respecto a:

Usar altura de edificio:

Altura edificio: m

Frecuencias de transmisión

Frecuencias

📄

Polarización:

Feeder: + -

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 📄

Pérdidas pasivos: dB

Potencia: W ▼

Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Figura 51

Menú de propiedades del diagrama de radiación

Propiedades del Diagrama de Radiación

Propiedades

Tipo de diagrama: Copolar Xpolar

Polarización: Horizontal ▾

Ganancia: 2 dBi

Frecuencia inicial: 186 MHz ▾

Frecuencia final: 192 MHz ▾

Tilt eléctrico: 0 °

XPD 90: 30 dB

Ancho de haz: 61 °

Rel. delante/atrás: 20 dB

Diagrama horizontal

Diagrama horizontal + Ⓜ ✖

Diagramas verticales

+

Azimuth

0.00 Ⓜ ✖

Aceptar Aplicar Recargar Cancelar

Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Figura 52

Menú de propiedades del receptor

Parámetros de radio

Parámetros de radio

Antena: NTSC B-III 10 dBi 60°

Altura antena: 3 m

Polarización: Horizontal

Feeder:

Longitud del feeder: 5 m

Pérdidas del feeder: 0.20 da

Pérdidas pasivos: 2 dB

Umbral recepción: Campo Potencia

74 dBu

Aceptar Aplicar Recargar Cancelar

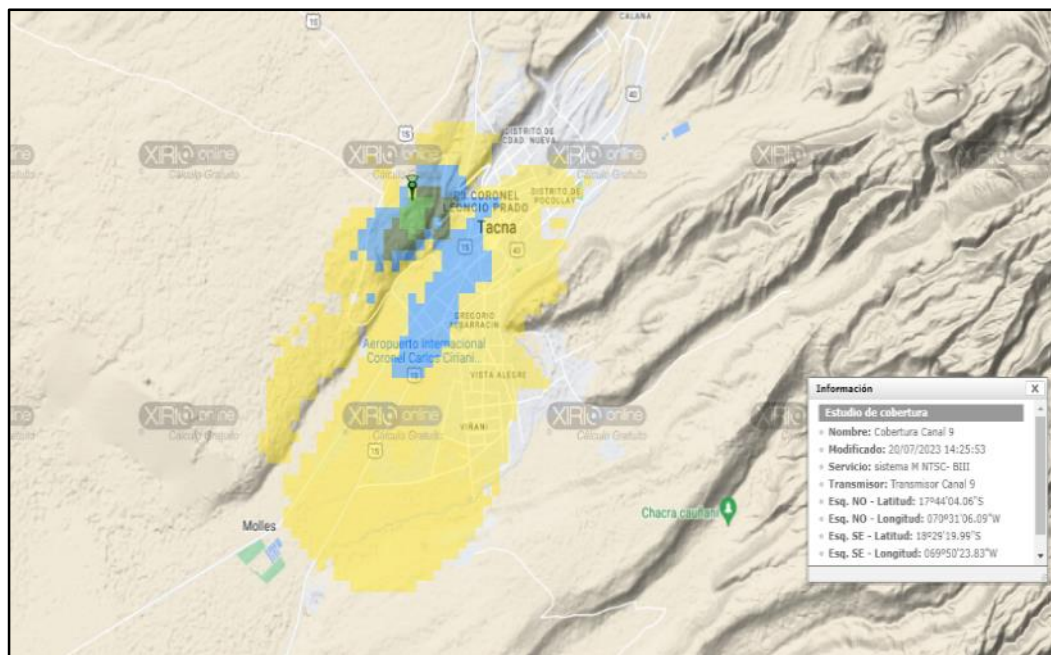
Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

2.2.7.2.7 Ejemplo del resultado de un estudio de cobertura

El resultado de un estudio de cobertura se da en forma gráfica a través de una capa visual de nivel de señal sobre un mapa de una zona geográfica, donde cada color de la capa visual representa la intensidad del campo eléctrico de señal que se recibe en una área de cálculo, además se añade un elemento radioeléctrico que representa al transmisor con el que se ha hecho el diseño de la cobertura de la estación de radiodifusión. En la figura 53 se muestra este resultado para el ejemplo que se está presentando en las figuras anteriores que es para un canal de televisión analógica abierta.

Figura 53

Resultado de un estudio de cobertura para una señal de TV analógica



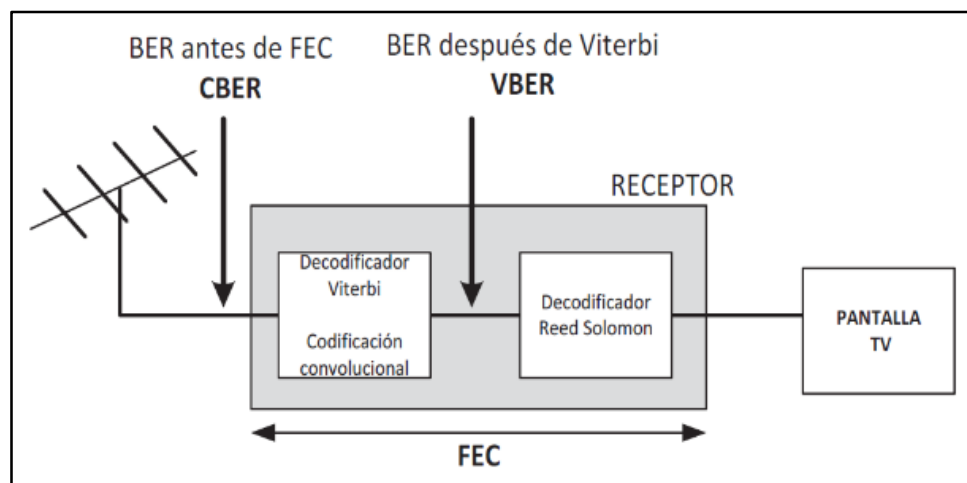
Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

2.3. Definición de términos

- BER: Bit Error Rate. Es una medida muy usada en sistemas de comunicación digital donde se calcula la cantidad de bits que se reciben con error por la cantidad total de bits transferidos durante un periodo de tiempo determinado. El BER las características de desvanecimiento de un canal de comunicaciones, del método de codificación, esquema de modulación y potencia del transmisor. En la figura 54 se muestra un diagrama de 2 tipos de BER que se miden en el receptor.

Figura 54

Mediciones de la tasa de error de bit (BER)



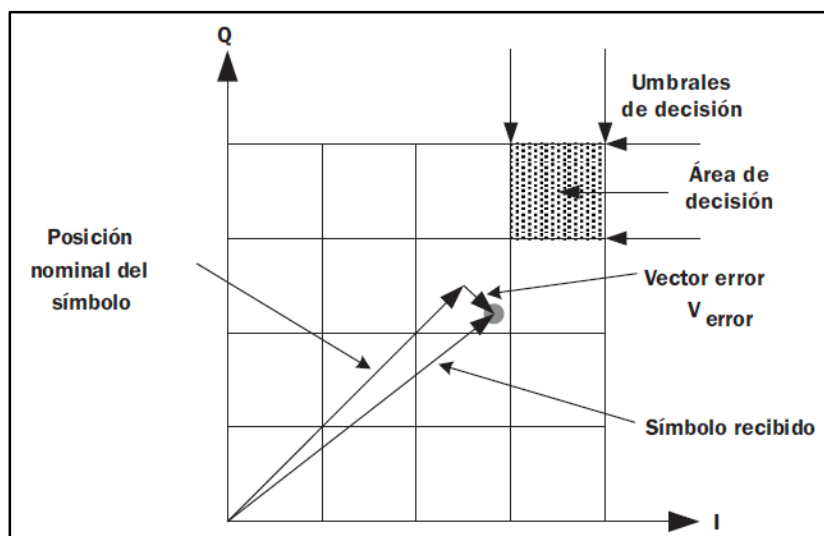
Nota. Recuperado de Páramo, 2016

- Canal virtual: Es el canal que figura numerado en el receptor para identificar el número con el cual fue y es conocido el operador en la localidad donde ha venido operando su transmisor analógico. Por ejemplo, en Tacna, América Televisión emite su señal analógica en el canal 9 de la banda alta de VHF, ahora que tiene un transmisor de televisión digital terrestre en el canal 24 UHF, no utiliza esa numeración para su canal digital, sino que usa el número de su canal virtual 9.1.
- CBER: Es la primera medición del BER antes de la etapa del FEC del receptor.
- C/N: En inglés Carrier to Noise Ratio, que significa relación portadora a ruido. Es un parámetro de extrema importancia en cualquier sistema de telecomunicaciones y depende, entre otros factores, del esquema de modulación utilizado. Esta relación se mide en radiofrecuencia y no debe ser confundida con la relación señal ruido (S/N) utilizada para señales de audio o video en banda base. La relación C/N considerada en un punto cualquiera del área de servicio, es la razón entre el valor de la intensidad de campo de la señal útil (portadora de RF) y el nivel de ruido en ese punto, que depende de la figura de ruido del receptor, la ganancia del sistema y la anchura de banda de la señal. (Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013)

- Eco: Se refiere a la señal radioelétrica reflejada de una señal proveniente de un transmisor principal que también llega a un receptor.
- Gap Filler: Se traduce como “rellenador de zonas de sombra”, es un dispositivo que se utiliza para brindar cobertura a los lugares donde no llega la señal o el nivel recibido no es satisfactorio.
- IRD: Son las siglas de Integrated Receiver Decoder, que significa Decodificador Receptor Integrado.
- ISI: Es la interferencia intersimbólica que se produce por diversas causas, siendo la principal por el retardo en la llegada de una señal con respecto a otra.
- MER: Son las siglas de Modulation Error Rate. Se define como la relación de potencia de señal I/Q recibida para la potencia de la señal I/Q de error. Es una forma de medir la acumulación de todos los efectos interferentes que aparecen en la trayectoria de transmisión. (Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013). En la figura 55 se muestran los parámetros que permiten definir la MER.

Figura 55

Definición de MER



Nota. Recuperado de Pisciotta, Liendo & Lauro, 2013

- One seg: Se denomina así al servicio de TDT del estándar ISDB-T o del ISDB-Tb destinado a los receptores móviles y portátiles, para el cual utiliza un solo segmento (el segmento central) de los 13 segmentos que utiliza la norma.
- STB: Es un término que se usa para referirse al convertidor digital o decodificador digital de televisión digital terrestre. (Jarrín y Morrejón, 2012)
- VBER: Es la segunda medida del VER después del código corrector de Viterbi del receptor.

Capítulo III: Marco Metodológico

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

“El diseño de una red SFN de Televisión Digital Terrestre mejora la cobertura de una estación de televisión abierta ubicada en el Cerro Para de la ciudad de Tacna”.

3.1.2. Hipótesis específicas

- La descripción de los parámetros técnicos permitirá el diseño adecuado de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre.
- La descripción de los elementos o componentes permitirá el diseño adecuado de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre.
- La simulación en el software Xirio Online proporciona información de la cobertura de una estación de televisión abierta ubicada en el Cerro Para de la ciudad de Tacna, lo que permitirá el diseño adecuado de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre.

3.2. Variables

3.2.1. Identificación de la variable independiente

- Variable independiente es el **Diseño la Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre.**

3.2.1.1. Indicadores

Dimensión 1: Según la transmisión de la señal.

Indicadores

- Niveles de potencia.
- Niveles de intensidad de campo

Dimensión 2: Según el diseño de la Red de Frecuencia Única.

Indicadores

- Niveles de potencia.
- Niveles de intensidad de campo
- Intervalo de guarda.

3.2.1.2 Escala para la medición de la variable

Las escalas de medición para la variable independiente, está relacionado con el diseño de la red de frecuencia única. Para realizar un buen diseño de la red se deben tener en cuenta los niveles de potencia y la programación del transmisor y el o los repetidores. Por tanto, se medirá esta variable en unidades logarítmicas de potencia absoluta o dBm y los tiempos de retardo en ms.

3.2.2 Identificación de la variable dependiente

- La variable dependiente es **la Cobertura de la Televisión Abierta en la ciudad de Tacna.**

3.2.2.1. Indicadores

Dimensión 1: Según la recepción de la señal.

- Niveles de recepción.
- Niveles de intensidad de campo.
- Cobertura.

Dimensión 2: Según la calidad de la señal digital.

- Niveles de calidad de la señal digital.

3.2.2.2 Escala para la medición de la variable

Las escalas de medición para la variable dependiente, están relacionadas con la recepción de la señal en la ciudad de Tacna y se mide en niveles de intensidad de campo dBuV/m ó dBm/m², en las escalas de colores del simulador. Opcionalmente se puede medir en una escala de apreciación de Buena recepción o Mala recepción.

3.3. Tipo y Diseño de la Investigación

La investigación es de tipo aplicada, porque se busca ofrecer una mejora la cobertura de una estación de Televisión Abierta ubicada en el Cerro Para de la ciudad de Tacna.

El diseño de investigación es no experimental y transversal. Es no experimental porque el estudio se realizó sobre varias zonas dentro de la ciudad de Tacna. Además, es transversal se analizaron los niveles de intensidad de campo para compararlos con la simulación utilizando varios métodos de propagación.

La metodología de investigación que se presenta es cuantitativa, puesto que se examinaron las medidas de intensidad de campo en diversas ubicaciones, además de las coordenadas geográficas de cada ubicación dentro de la ciudad de Tacna.

3.4. Nivel de Investigación

El nivel investigación usado es descriptivo porque se analiza un aspecto de la realidad (Televisión Abierta), utilizando la investigación documental del motivo de la investigación (mejora de la cobertura en la ciudad de Tacna) y se trata de explicar y demostrar que el diseño de una Red de Frecuencia Única de Televisión Digital Terrestre mejora la cobertura de la Televisión Abierta.

3.5. Ámbito y tiempo social de la Investigación

La investigación considera el estudio de la cobertura de la señal del canal 24 (Canal virtual 9.1) en la ciudad de Tacna, incluido el cercado de Tacna y los

distritos de Gregorio Albarracín, Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Pocollay y parte de Calana. El periodo del estudio será de enero a diciembre del 2022.

Los resultados de la investigación buscan determinar cómo el diseño de una red de frecuencia única de TDT permite mejorar la cobertura de una estación de televisión abierta ubicada en la zona del Cerro Para de Tacna.

3.6. Población y muestra

3.6.1. Unidad de estudio

Las unidades de estudio son:

- La estación de televisión abierta ubicada en el Cerro Para, específicamente, la estación transmisora del canal 24 (Canal virtual 9.1).
- Los modelos de propagación.
- La ciudad de Tacna y distritos aledaños

3.6.2. Población

La población de estudio es la ciudad de Tacna y distritos aledaños, donde se ha medido la potencia recibida de la señal de la Televisión Digital de señal abierta.

3.6.3. Muestra

La muestra son las 21 ubicaciones a las que se tomaron la medida de intensidad de campo recibida. Además, se hace un mayor estudio sobre las zonas de sombra dentro de la ciudad de Tacna.

3.7. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.7.1. Técnicas de recolección de los datos.

Se emplearon las siguientes técnicas para la recolección de datos:

▪ **Técnica de análisis documental**, el cual hace realiza la búsqueda de información en libros, tesis de investigación, artículos científicos, libros de bibliotecas virtuales. Así como de fuentes similares de información como como herramientas de simulación de sistemas radioeléctricos, encontradas en la World Wide Web de otros diseñadores.

▪ **Técnica de observación no experimental**, que se realizara mediante un estudio de campo, el cual permitirá obtener información de la cobertura de la señal de la estación de TDT para definir el modelo de propagación apropiado a usar en el software de simulación.

3.7.2. Instrumentos para la recolección de los datos.

Se emplearon los siguientes instrumentos para la recolección de datos:

Como fuentes secundarias:

- **Libros especializados** sobre la Televisión Digital Terrestre, Redes de Frecuencia Única, Modelos de propagación de una señal radioeléctrica, uso de software de simulación de sistemas radioeléctricos;
- **Catálogos** sobre especificaciones técnicas de equipos de Redes de Frecuencia Única de Televisión Digital Terrestre;
- **Recomendaciones técnicas** de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la ABNT NBR;
- **Bibliotecas virtuales** de artículos especializados referidos a las Redes de Frecuencia Única de Televisión Digital Terrestre;
- **Direcciones webs** sobre trabajos de investigación como antecedentes del Proyecto a desarrollo; marco teórico para la descripción de los parámetros y equipos de Redes de Frecuencia Única de Televisión Digital Terrestre;
- **Software** de simulación de sistemas radioeléctricos como el XIRIO® Online.

Como fuentes primarias:

- **Fichas de observación** para registrar la información obtenida en la observación experimental;
- **Equipo de medición** para la toma de medida de intensidad de campo en diversos puntos del área de estudio.

3.8. Procesamiento, presentación, análisis e interpretación de los datos

El procesamiento de datos de la presente investigación, consistió en la secuencia de actividades planificadas mediante el cual los datos individuales se agrupan y estructuran con el propósito de responder al problema de Investigación, a los objetivos planteados y a las hipótesis por comprobar.

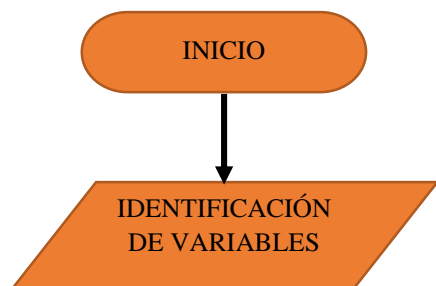
Se efectuó un análisis cualitativo de la información obtenida mediante el estudio de campo para determinar el modelo de propagación a utilizar en el software de simulación de cobertura de la estación de Televisión Digital Terrestre TDT. La determinación del modelo de propagación se hizo por comparación de los resultados del estudio de campo y de la simulación de la cobertura. De esa manera se realizó la simulación de la red de frecuencia única utilizando retransmisores para mejorar la cobertura de la Televisión Abierta.

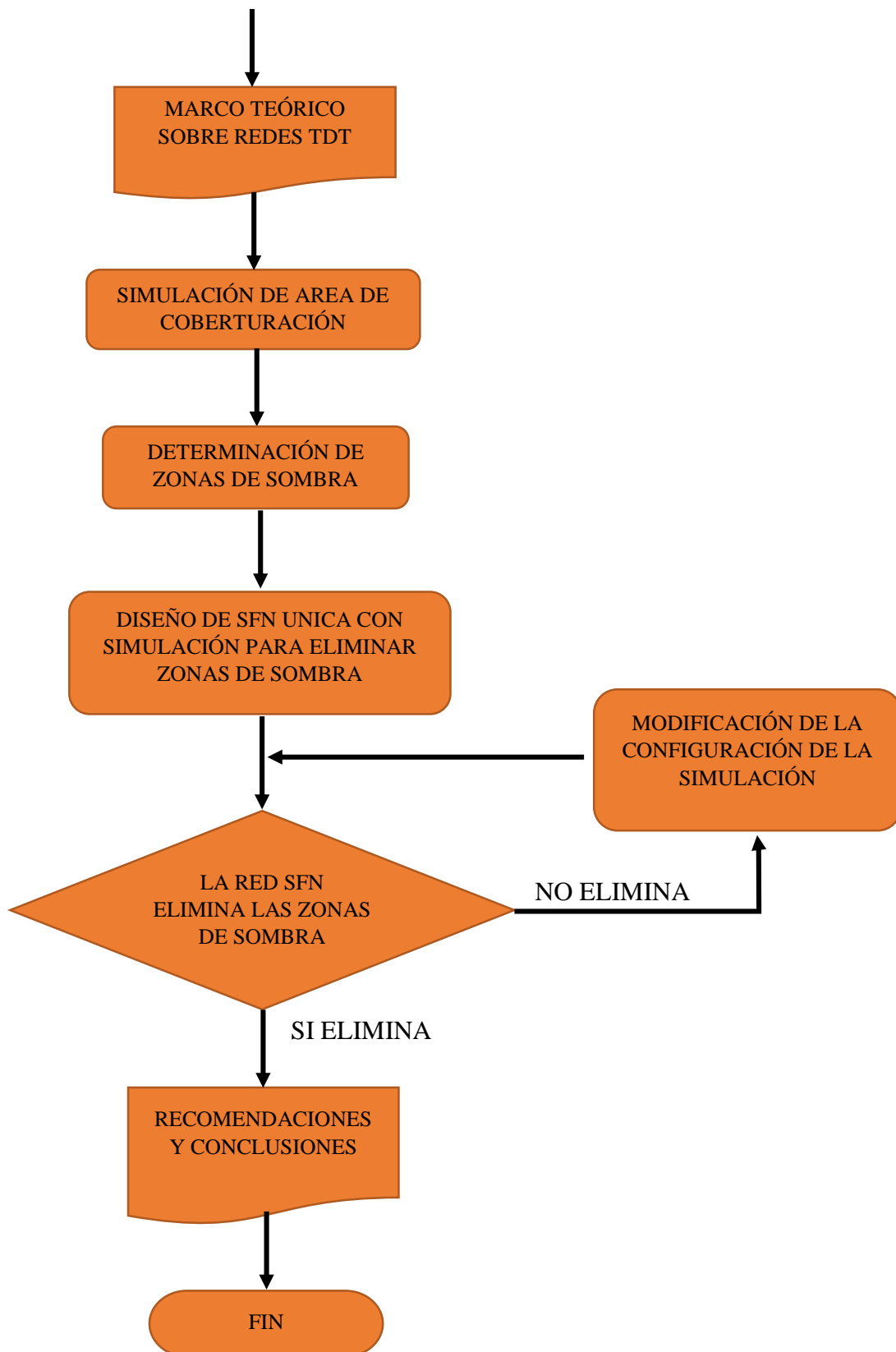
Las hipótesis planteadas fueron comprobadas con los resultados obtenidos. Por ser una investigación aplicada, no se requirió la contrastación de las hipótesis por el método estadístico.

Finalmente se presentaron las conclusiones y recomendaciones producto de los resultados obtenidos en mi investigación aplicada.

Figura 56

Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación





Nota. Elaboración propia

Capítulo IV: Diseño de la Red de Frecuencia Única mediante simulación de cobertura

4.1. Introducción

En este capítulo se realizará el diseño de una red de frecuencia única SFN de la estación de TDT de Canal 24, que comercialmente es conocido como América Televisión, y como canal virtual es Canal 9.1, para realizar esto, inicialmente se debe determinar el modelo de propagación que vamos a usar para realizar la simulación de la cobertura de la red SFN y determinar la zona o zonas de sombra que presenta la señal de dicho canal.

Para determinar el modelo de propagación a utilizar en la simulación debemos tomar medidas de la cobertura del canal 24 de TDT en la ciudad de Tacna y distritos aledaños, utilizando instrumentos de medición de niveles de potencia o intensidad de campo y luego usando el software de planificación de la señal radioeléctrica determinamos el método de propagación que presente una medida de cobertura más parecida a los resultados obtenidos en la medición de niveles de potencia o estudio de campo.

El estudio de campo se realizó midiendo la potencia o intensidad de campo recibida en 21 ubicaciones de la ciudad de Tacna, utilizando un medidor de potencia o intensidad de campo de la señal recibida. Se hizo mayor incidencia en las zonas donde se tiene conocimiento previo que no hay buena cobertura de la señal de televisión analógica.

Luego se realizó la simulación con el software respectivo configurando el simulador los diversos métodos de propagación que dispone dicho software, y a continuación se comparan los resultados con las medidas tomadas en el estudio de campo. En base a esta determinación se realiza la simulación con el software de planificación de cobertura, con ello se determinan la o las zonas de sombra dentro de la ciudad de Tacna y distritos aledaños.

Finalmente se realiza una simulación de una red de frecuencia única SFN para mejorar la cobertura en las zonas de sombra que se encontraron en la primera simulación de la cobertura solamente del transmisor principal sin repetidores. Para ello se evalúa la mejor ubicación del retransmisor y los parámetros de operación que nos permitan garantizar una cobertura adecuada de las zonas de sombra.

4.2. Determinación del Modelo de Propagación para Tacna

Como se dijo anteriormente, el modelo de propagación adecuado para la predicción de cobertura en la ciudad de Tacna, debe ser escogido de entre varias recomendaciones internacionales y modelo clásicos y modificados de propagación de la señal radioeléctrica, debido a que no todas las ciudades de los diversos países del mundo presentan el mismo relieve ni tampoco presentan el mismo nivel de edificaciones, por ello es necesario saber qué modelo de propagación se adecúa a cada ciudad o a cada país. En los diversos países de Sudamérica se han realizado muchos estudios sobre este tema y no todos coinciden con el tema del método de propagación. Solamente hay una recomendación general hecha por la entidad brasileña ABNT NBR en cargada de normar acerca del estándar ISDB-Tb. Por ello, en la presente investigación, se ha hecho un estudio de campo para evaluar el método de propagación más adecuado para el estudio de cobertura de un canal de TDT en Tacna.

4.2.1 Estudio de Campo

En el estudio de campo se realizaron las mediciones de intensidad de campo electromagnético en diversos puntos de la ciudad de Tacna y distritos aledaños.

La mayoría de puntos que se han seleccionado son de los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva donde la señal de la estación de televisión de los canales de televisión ubicados en el Cerro Para no llega bien o simplemente no llega. En este caso se obtuvieron las medidas de intensidad de campo para el canal 24 o canal virtual 9.1

Los elementos y equipos que se usaron para el estudio de campo son los siguientes:

- Medidor de Potencia o Intensidad de Campo

Se usó el Analizador de espectro marca GSERTEL, modelo HEXYLON: Este equipo es un medidor portátil especializado que puede medir señales desde 5MHz hasta 3.3GHz que incluyen señales de Televisión Analógica, Televisión Digital Digital DVB-T/T2, DVB-S/S2X, DVB-C, ISDB-T/Tb, FM, DAB/DAN+, TSoIP y HEVC. El medidor tiene funciones propias de un analizador de espectro de TDT como medidas de MER, C/N, CBER, VBER, representación gráfica de la constelación, análisis espectral, monitorización de la señal de video y otras.

Figura 57

Medidor de intensidad de campo HEXYLON



Nota. Elaboración propia

- Antena para Televisión Digital Terrestre
Se utiliza una antena especializada en TDT de la marca AJV modelo AJ-AC100, apropiada para ISDB-T, con una ganancia de 14 dB.
- Mástil de 3 metros.
- Cable coaxial RG-6 de 5 mts.

Los modelos de propagación que van a ser evaluados son solo 3, ya que son los más recomendados en investigaciones anteriores en países de nuestro continente sudamericano:

- Recomendación UIT-R P.1546-5
- Recomendación UIT UIT-R P.526-15
- Okumura-Hata Modificado

4.2.2 Estudio de Campo

Se realizaron las mediciones en varios puntos fijos de la señal de canal 24 UHF (Canal Virtual 9.1), para identificar las zonas de sombra y establecer el modelo de propagación que se usará en el diseño de la red de frecuencia única. Con el conocimiento previo que ciertas zonas de los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva son zonas de sombra para la señal del canal 9 VHF que es el que corresponde a la señal de televisión analógica.

En la siguiente tabla se indican los puntos donde se realizaron las mediciones:

Tabla 16

Puntos del estudio de campo

N° de Punto	Nombre de zona	Latitud	Longitud	Distrito
1	Plaza José de San Martín	17°59'24.20"S	70°14'42.11"O	Alto Alianza

2	Plaza José Olaya	17°59'1.79"O	70°14'7.90"O	Ciudad Nueva
3	IEI Jesús Divina Misericordia	17°58'19.19"S	70°13'39.93"O	Ciudad Nueva
4	Cancha 28 de Agosto	17°58'33.28"S	70°14'0.86"O	Ciudad Nueva
5	Terminal Collasuyo	17°59'10.95"S	70°14'46.30"O	Alto Alianza
6	Centro de Salud Juan Velazco	17°59'24.93"S	70°15'4.29"O	Alto Alianza
7	Asoc. de Vivienda Ramón Copaja	17°59'48.50"S	70°15'31.90"O	Alto Alianza
8	Oficina de Migraciones	18° 0'40.12"S	70°15'30.59"O	Tacna
9	Plaza Zela	18° 0'35.87"S	70°14'42.76"O	Tacna
10	Mercadillo Bolognesi	17°59'59.51"S	70°14'16.61"O	Tacna
11	Asoc. de Vivienda F. Barreto	17°59'43.05"S	70°13'57.31"O	Pocollay
12	Ovalo G. Albarracín	17°59'55.62"S	70°13'30.17"O	Pocollay
13	Límite Pocollay y Calana	17°59'3.95"S	70°12'25.57"O	Calana
14	Restaurant El Patroncito	17°58'9.00"S	70°11'25.46"O	Calana
15	Complejo Capanique	18° 0'32.52"S	70°13'39.51"O	Tacna
16	Ovalo Av. Cusco	18° 1'40.45"S	70°15'2.03"O	Tacna
17	Plaza de la Bandera - Para Chico	18° 1'30.55"S	70°15'46.96"O	Tacna
18	Ovalo Ceticos - Habitat	18° 4'14.38"S	70°17'32.61"O	Tacna
19	Ovalo Avenida La Cultura	18° 3'2.47"S	70°15'23.58"O	Gregorio Albarracín
20	Asoc. de Vivienda Terminal	18° 3'1.68"S	70°14'53.82"O	Gregorio Albarracín

21	Asoc. Monterrey - Viñani	Viv.	18° 4'11.26"S	70° 15'11.99"O	Gregorio Albarracín
----	-----------------------------	------	---------------	----------------	------------------------

Nota. Elaboración propia

En la figura 58 se muestran los puntos donde se midió la señal.

Figura 58

Ubicaciones de los puntos de medición



Nota. Elaboración propia

Luego se analizaron los puntos de medición desde el punto de vista del trayecto entre el transmisor y el punto, estudiando el perfil de elevación con ayuda del software Google Earth Pro.

- Punto 1: Plaza José de San Martín.

Figura 59

Ubicación del Punto 1: Plaza San Martín, y perfil de elevación respectivo



Nota. Elaboración propia

En la figura 59 se observan varias elevaciones en el trayecto de la señal, pero hay una elevación del terreno de 734 m, ubicada a 2.53 km de la Planta de Transmisión que es una interferencia que causa un desvanecimiento de la señal y produce una zona de sombra.

- Punto 2: Plaza José Olaya

Figura 60

Ubicación del Punto2: Plaza José Olaya, y perfil de elevación respectivo.



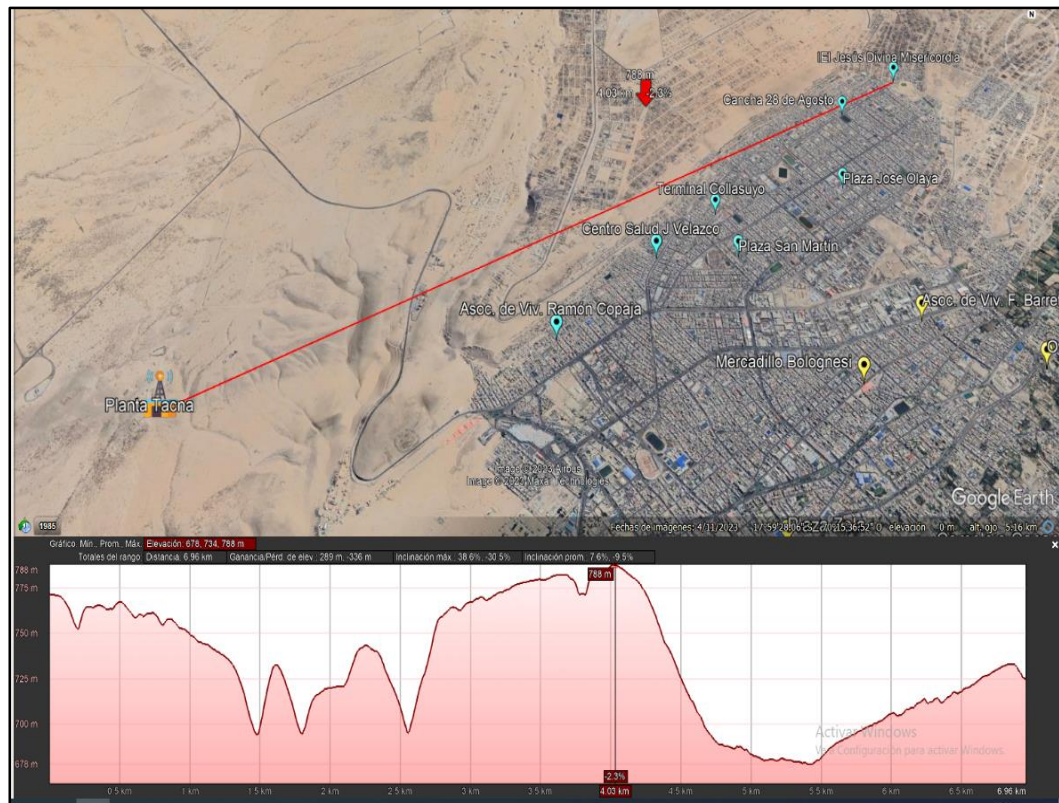
Nota. Elaboración propia

Se verifica en la figura 60 que en el trayecto de la señal existen varias elevaciones bastante considerables, pero hay una elevación del terreno de 757m que es la más pronunciada, ubicada a 2.79km de la Planta de Transmisión. Esta elevación del terreno es una interferencia que causa un desvanecimiento de la señal y produce una zona de sombra.

- Punto 3: IEI Jesús Divina Misericordia.

Figura 61

Ubicación del Punto3: IEI Jesús Divina Misericordia, y perfil de elevación respectivo.



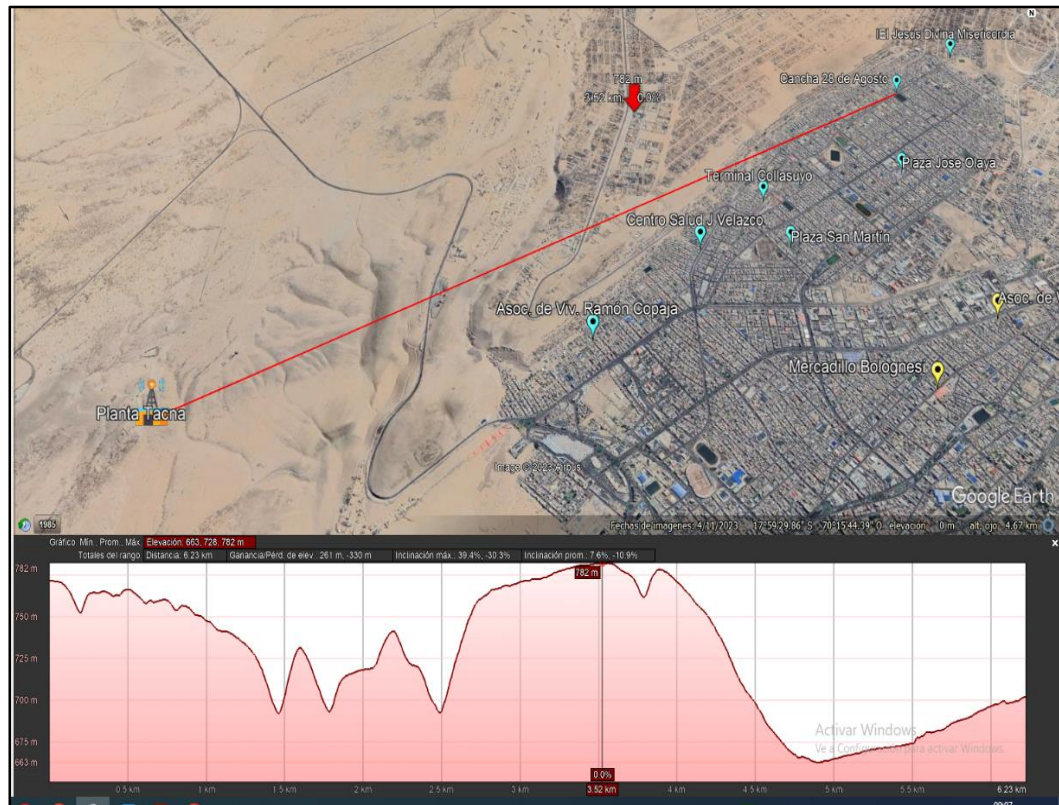
Nota. Elaboración propia

En la figura 61 se observa que, en el trayecto de la señal, existen varias elevaciones, pero hay una elevación del terreno de 788m que es la más pronunciada, ubicada a 4.02km de la Planta de Transmisión. Esta elevación del terreno es una interferencia que causa un desvanecimiento de la señal y produce una zona de sombra.

- Punto 4: Cancha 28 de Agosto

Figura 62

Ubicación del Punto 4: Cancha 28 de Agosto, y perfil de elevación respectivo.



Nota. Elaboración propia

Se verifica en la figura 62 que en el trayecto de la señal existen varias elevaciones, pero hay una elevación del terreno de 782m, ubicada a 3.52km de la Planta de Transmisión, que es la más pronunciada. Esta elevación del terreno es una interferencia que causa un desvanecimiento de la señal y produce una zona de sombra.

- Punto 5: Terminal Collasuyo.

Figura 63

Ubicación del Punto 5: Terminal Collasuyo, y perfil de elevación respectivo.



Nota. Elaboración propia

Se verifica en la figura 63 que en el trayecto de la señal existen varias elevaciones de terreno, pero hay una elevación ubicada a 2.98km de la Planta de Transmisión, de 769m de altura. Esta elevación del terreno es una interferencia que causa un desvanecimiento de la señal y produce una zona de sombra.

- Punto 6: Centro de Salud J. Velasco

Figura 64

Ubicación del Punto6: Centro de Salud J. Velasco, y perfil de elevación respectivo



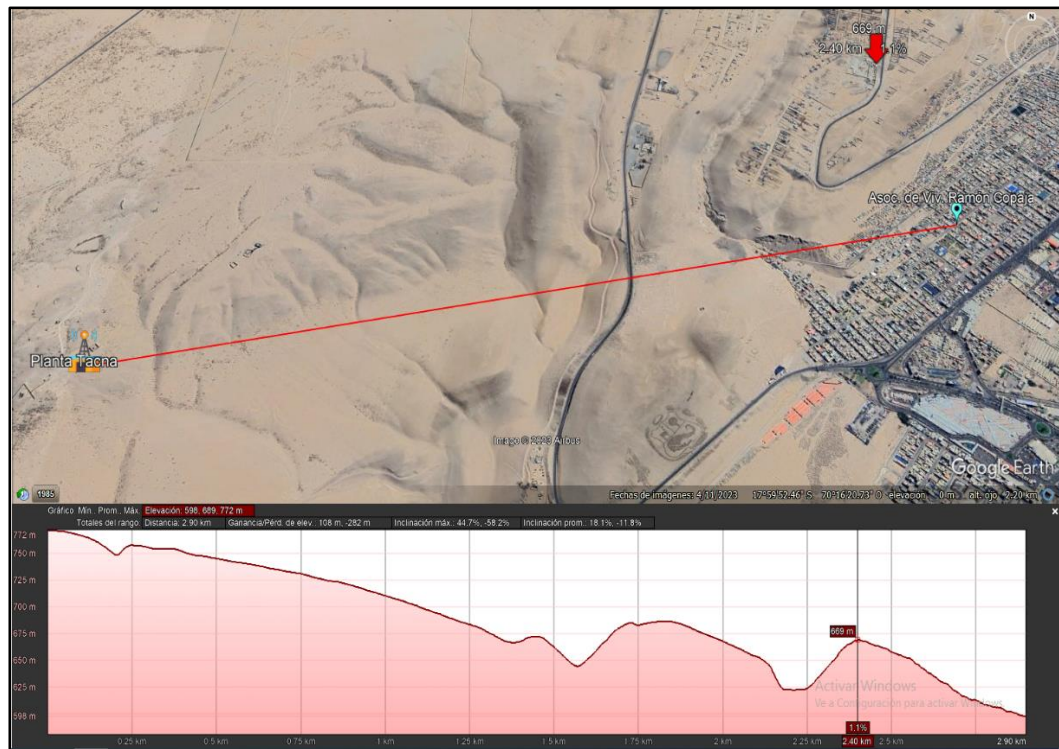
Nota. Elaboración propia

En la figura 64 se observan varias elevaciones en el trayecto de la señal, pero hay una elevación del terreno de 755m, ubicada a 2.72km de la Planta de Transmisión que es una interferencia que causa un desvanecimiento de la señal y produce una zona de sombra.

- Punto 7: Asoc. Viv. Ramón Copaja.

Figura 65

Ubicación del Punto7: Asoc. Viv. Ramón Copaja, y perfil de elevación respectivo.



Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 65 que en el trayecto de la señal existen 2 elevaciones de terreno bastante notorias, pero la elevación ubicada a 2.4km de la Planta de Transmisión, de 669m de altura es la más pronunciada. Esta elevación del terreno es una interferencia que causa un desvanecimiento de la señal y produce una zona de sombra.

- Punto 8: Oficina de Migraciones.

Figura 66

Ubicación del Punto 8: Oficina de Migraciones, y perfil de elevación respectivo.



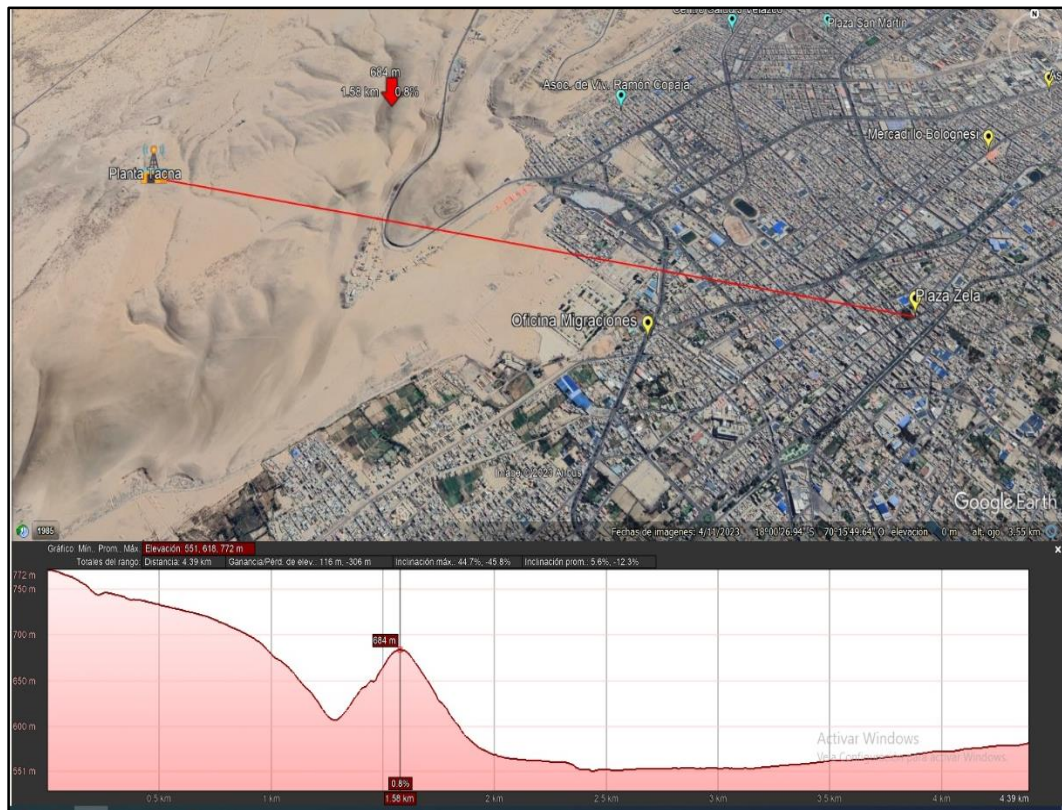
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 66 que en el trayecto de la señal existe una elevación ubicada a 1.57km de la Planta de Transmisión, de 637m de altura que no es muy pronunciada respecto a la línea de vista. Esta elevación del terreno no llega a ser una interferencia.

- Punto 9: Plaza Zela.

Figura 67

Ubicación del Punto 9: Plaza Zela, y perfil de elevación respectivo.



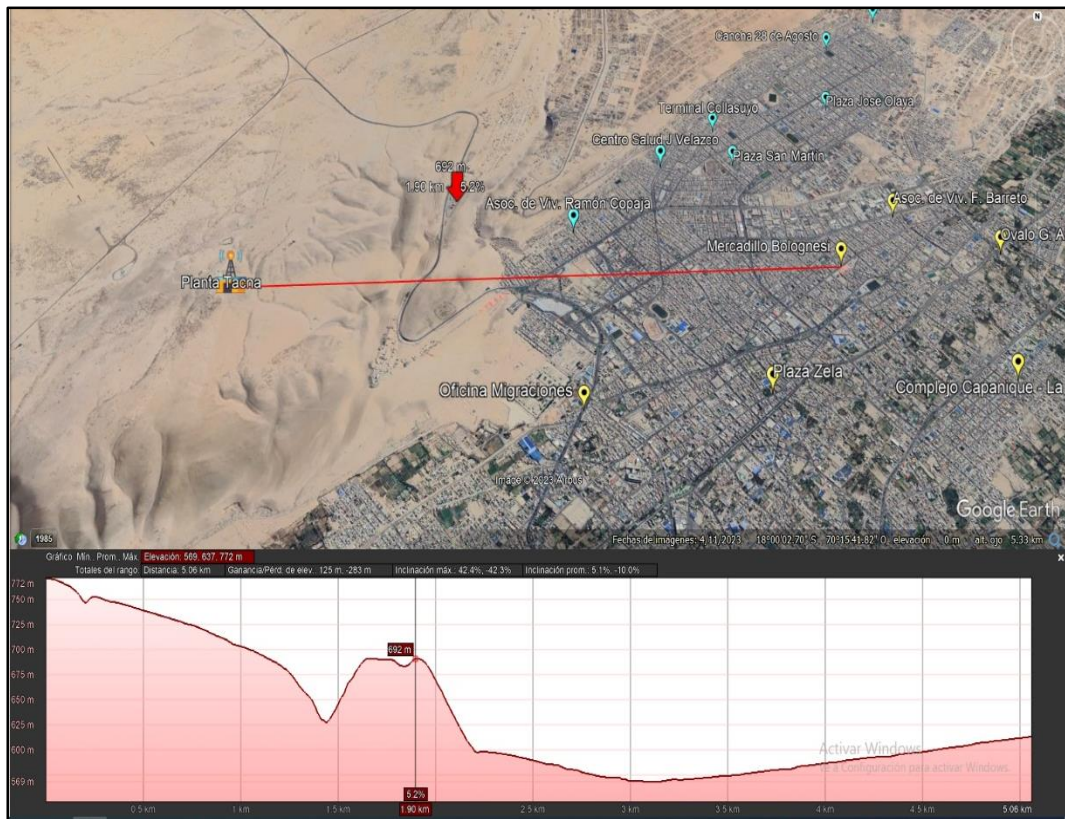
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 67 que en el trayecto de la señal existe una elevación ubicada a 1.57km de la Planta de Transmisión, de 637m de altura que no es muy pronunciada respecto a la línea de vista. Esta elevación del terreno no llega a ser una interferencia de la señal.

- Punto 10: Mercadillo Bolognesi.

Figura 68

Ubicación del Punto 10: Mercadillo Bolognesi, y perfil de elevación respectivo.



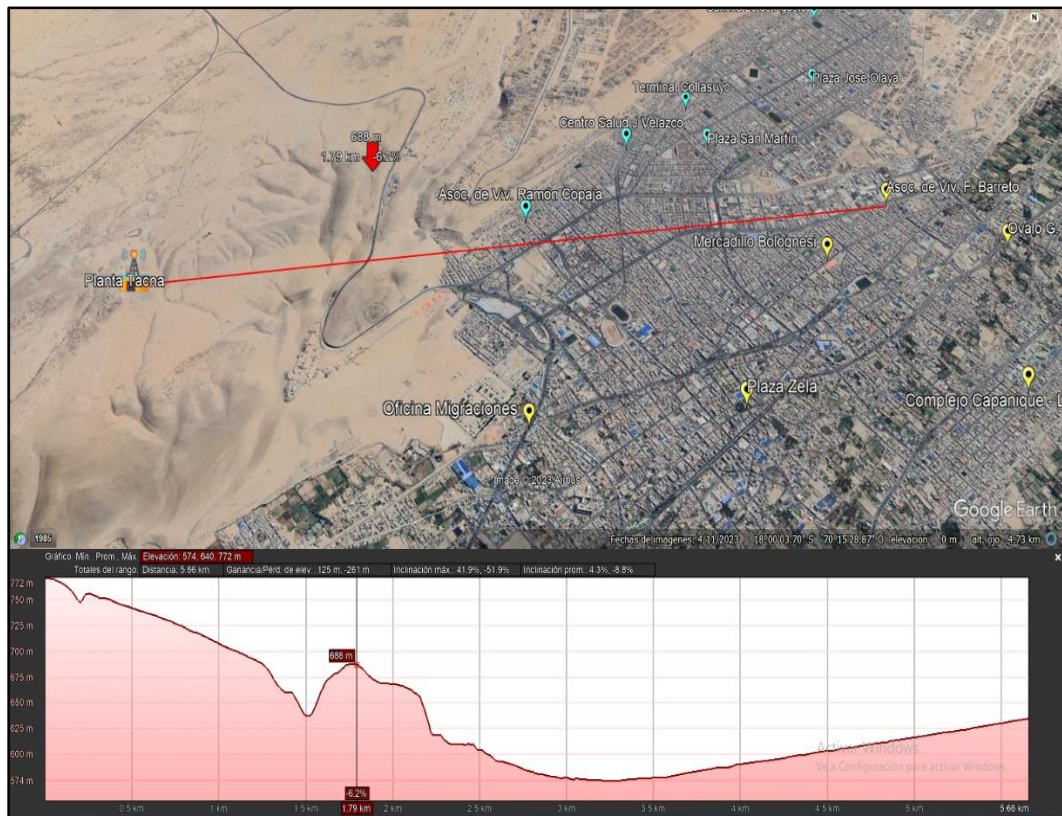
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 68 que en el trayecto de la señal existe una elevación ubicada a 1.90km de la Planta de Transmisión, de 692m de altura que no es muy pronunciada respecto a la línea de vista. Esta elevación del terreno no llega a ser una interferencia de la señal.

- Punto 11: Asoc. Viv. F. Barreto.

Figura 69

Ubicación del Punto 11: Asoc. Viv. F. Barreto, y perfil de elevación respectivo.



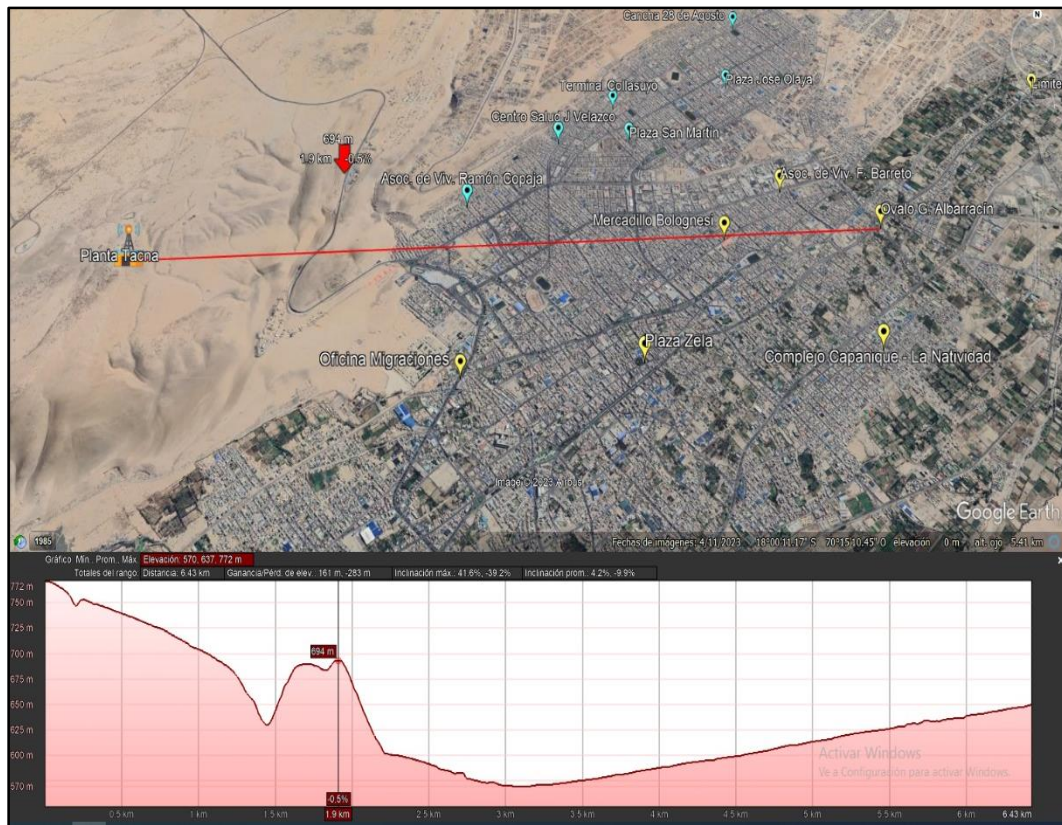
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 69 que en el trayecto de la señal existe una elevación ubicada a 1.79km de la Planta de Transmisión, de 688m de altura que no es muy pronunciada respecto a la línea de vista. Esta elevación del terreno no llega a ser una interferencia de la señal, y evidentemente hacia la parte alta de la ciudad hay mejor línea de vista, aunque la distancia del punto de transmisión al punto de medición es de 5.66km.

- Punto 12: Óvalo G. Albarracín.

Figura 70

Ubicación del Punto 12: Óvalo G. Albarracín, y perfil de elevación respectivo.



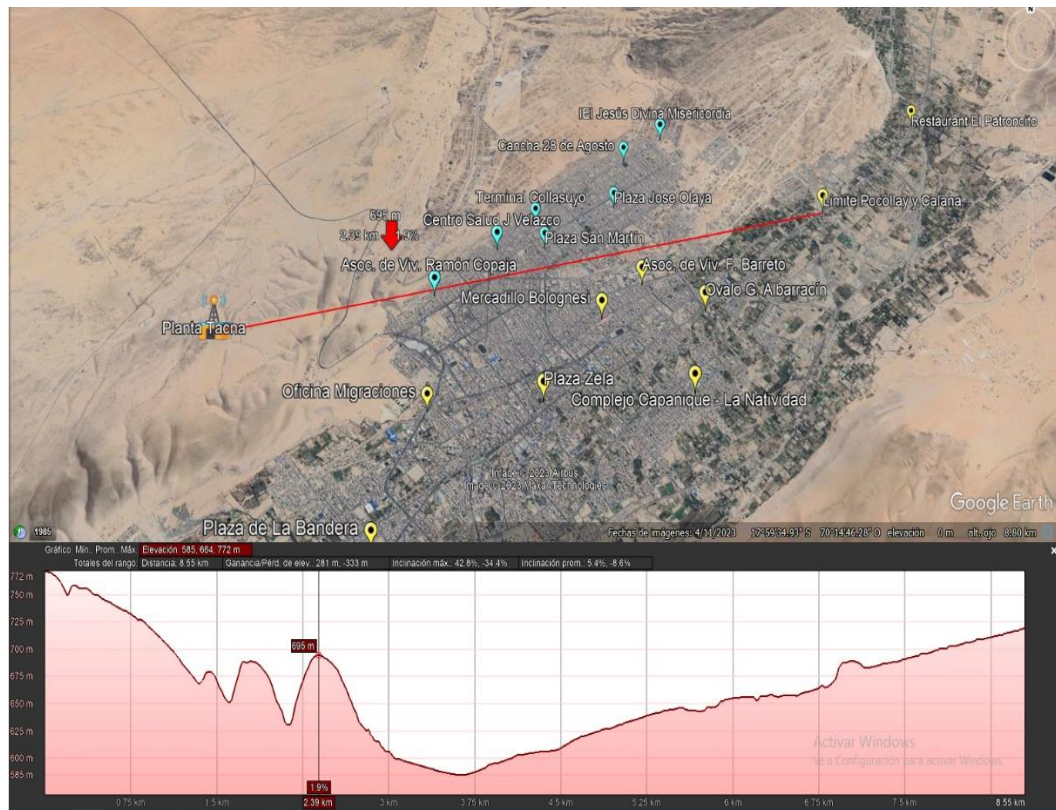
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 70 que en el trayecto de la señal existe una elevación ubicada a 1.9km de la Planta de Transmisión, de 694m de altura que no es muy pronunciada respecto a la línea de vista. Esta elevación del terreno no llega a ser una interferencia de la señal, y evidentemente hacia la parte alta de la ciudad hay mejor línea de vista, aunque la distancia del punto de transmisión al punto de medición es de 6.43km.

- Punto 13: Límite Pocollay y Calana.

Figura 71

Ubicación del Punto 12: Límite Pocollay y Calana, y perfil de elevación respectivo.



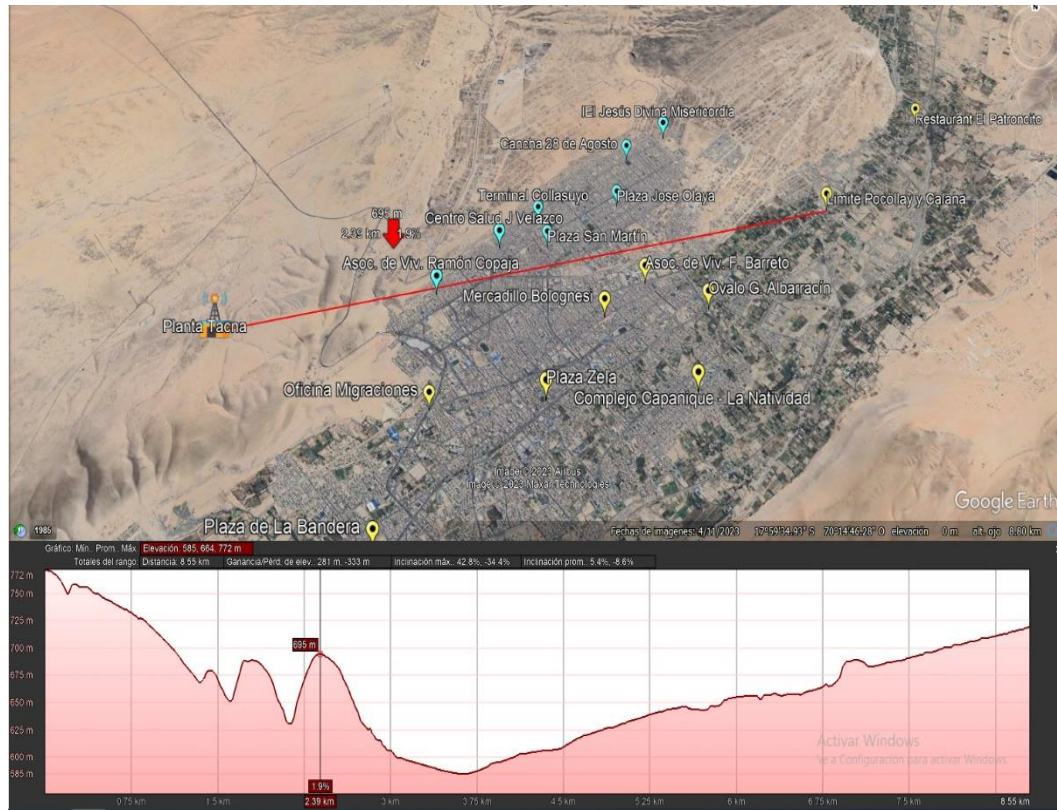
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 71 que en el trayecto de la señal existe una elevación ubicada a 2.39km de la Planta de Transmisión, de 695m de altura que no causa ninguna interrupción a la línea de vista. Esta elevación del terreno no llega a ser una interferencia de la señal, y evidentemente hacia la parte alta de la ciudad hay mejor línea de vista, aunque debido a la distancia del punto de transmisión al punto de medición que es de 8.55km hay una pérdida considerable por la atenuación de la señal, no habiendo una elevación cercana donde se refleje la señal y se refuerce de esa manera.

- Punto 14: Restaurante El Patroncito.

Figura 72

Ubicación del Punto 14: Restaurante El Patroncito, y perfil de elevación respectivo



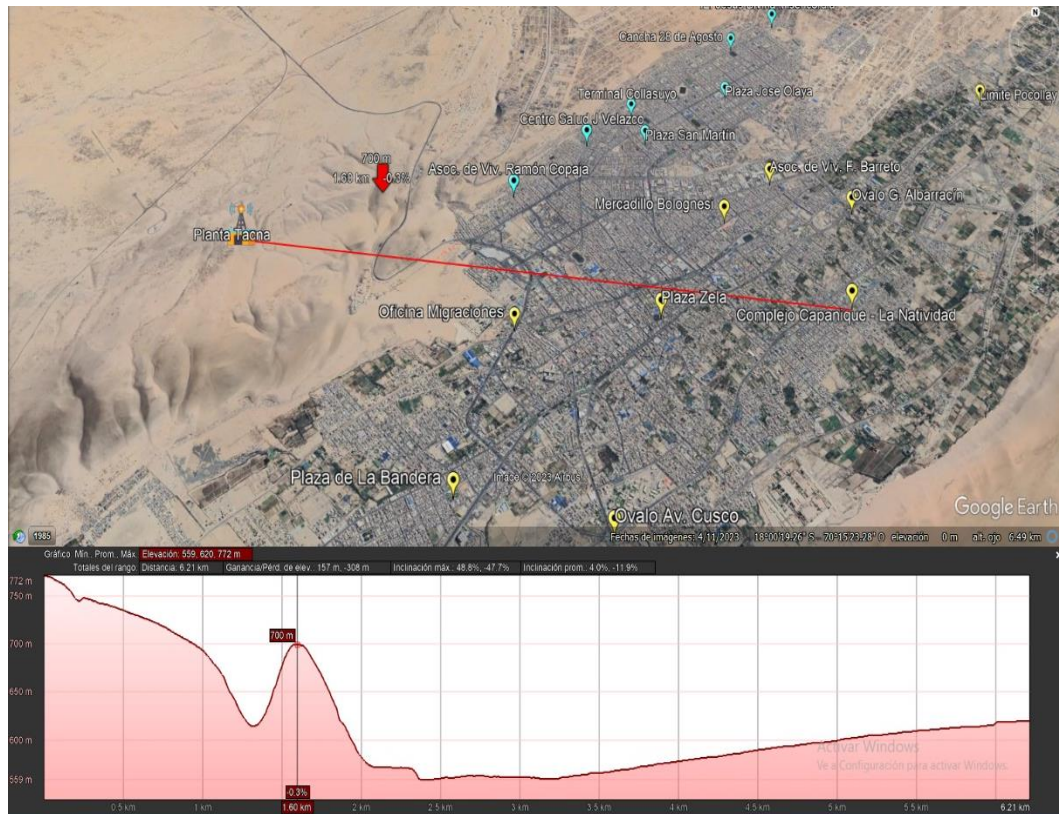
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 72 que en el trayecto de la señal hay varias elevaciones cercanas a la planta, pero existe una elevación ubicada a 9.66km de la Planta de Transmisión, de 771m de altura que a pesar de ser muy pronunciada no produce ninguna interrupción a la línea de vista debido a que se encuentra en la parte alta de la ciudad donde hay mejor línea de vista, aunque debido a la distancia del punto de transmisión al punto de medición que es de 10.8km hay una pérdida considerable por la atenuación de la señal, no habiendo una elevación cercana donde se refleje la señal y se refuerce de esa manera.

- Punto 15: Complejo Capanique – La Natividad.

Figura 73

Ubicación del Punto 15: Complejo Capanique – La Natividad, y perfil de elevación respectivo.



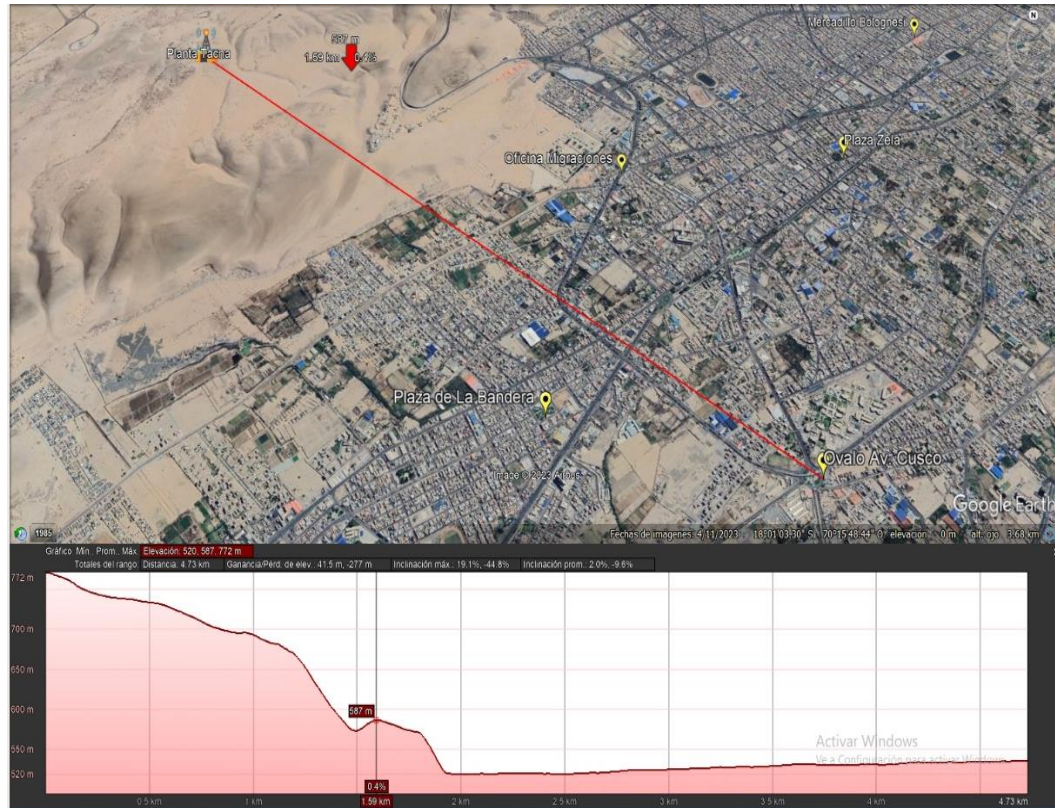
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 73 que en el trayecto de la señal existe una elevación ubicada a 1.6km de la Planta de Transmisión, de 700m de altura que no es muy pronunciada respecto a la línea de vista. Esta elevación del terreno no llega a ser una interferencia de la señal, y evidentemente hacia la parte alta de la ciudad hay mejor línea de vista, aunque la distancia del punto de transmisión al punto de medición es de 6.21km.

- Punto 16: Óvalo Avenida Cusco.

Figura 74

Ubicación del Punto 16: Óvalo Avenida Cusco, y perfil de elevación respectivo.



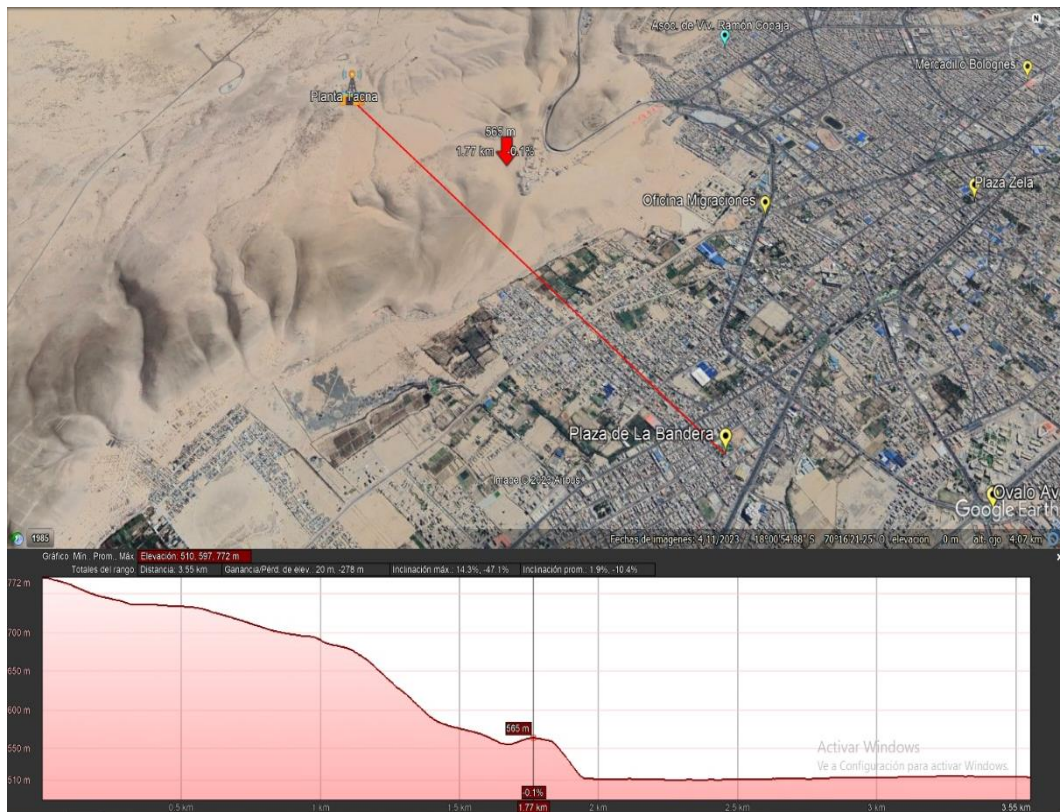
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 74 que en el trayecto de la señal no existe ninguna elevación pronunciada respecto a la línea de vista. Tampoco hay mucha atenuación de la señal debido a que no hay mucha distancia hacia el transmisor, 4.73km, inclusive puede haber un incremento del nivel ya que está relativamente cerca de una elevación natural del terreno que puede servir para flejar la señal e incrementar el nivel de potencia recibida.

- Punto 17: Plaza de La Bandera.

Figura 75

Ubicación del Punto 17: Plaza de La Bandera, y perfil de elevación respectivo.



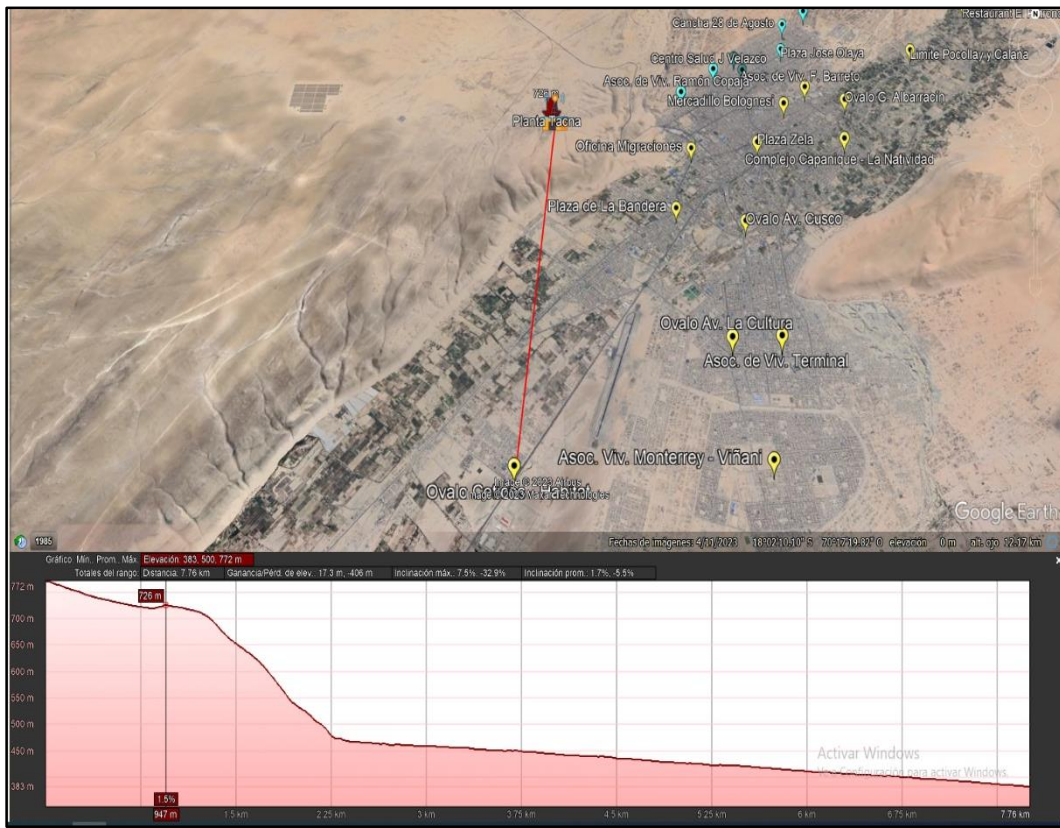
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 75 que en el trayecto de la señal no existe ninguna elevación pronunciada respecto a la línea de vista. Tampoco hay mucha atenuación de la señal debido a que no hay mucha distancia hacia el transmisor, 3.55km, además no hay ninguna elevación cercana donde se refleje la señal y se refuerce de esa manera.

- Punto 18: Óvalo Ceticos Hábitat.

Figura 76

Ubicación del Punto 18: Óvalo Ceticos Hábitat, y perfil de elevación respectivo.



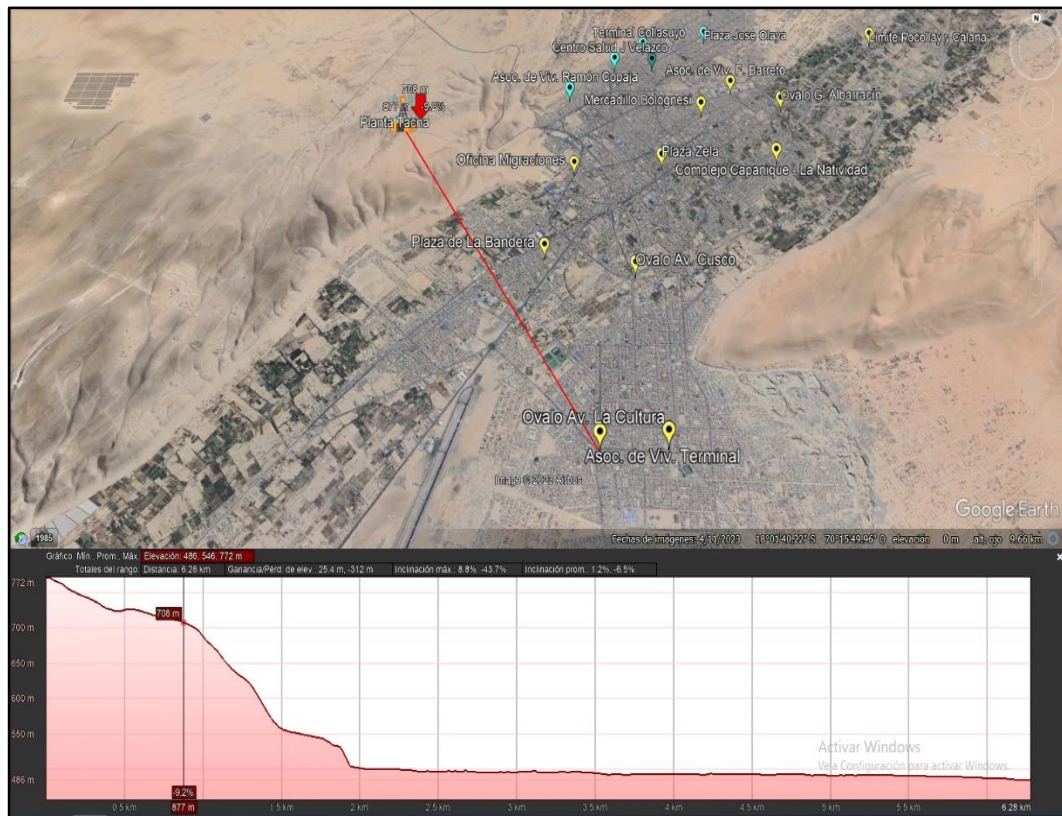
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 76 que en el trayecto de la señal existe una elevación ubicada a 947m de la Planta de Transmisión, de 726m de altura que no es muy pronunciada respecto a la línea de vista. Esta elevación del terreno no llega a ser una interferencia.

- Punto 19: Óvalo Avenida La Cultura.

Figura 77

Ubicación del Punto 19: Óvalo Avenida La Cultura, y perfil de elevación respectivo.



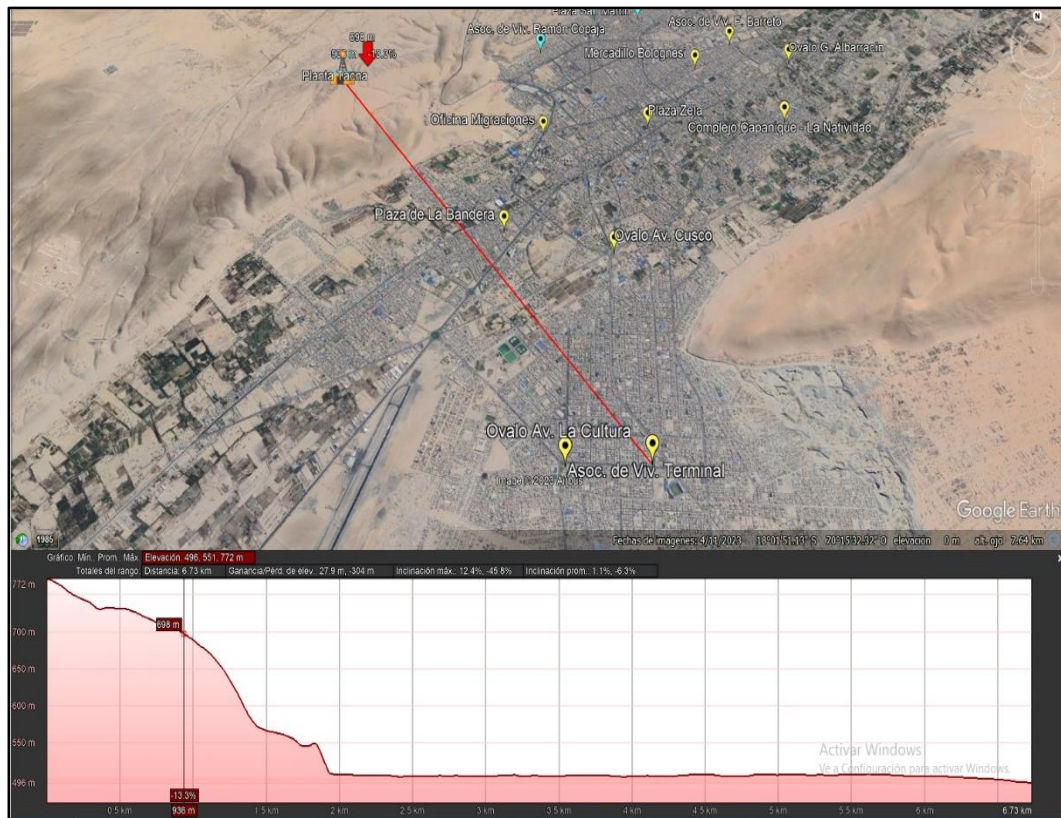
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 77 que en el trayecto de la señal existe una elevación ubicada a 877m de la Planta de Transmisión, de 708m de altura que no es muy pronunciada respecto a la línea de vista. Esta elevación del terreno no llega a ser una interferencia.

- Punto 20: Asoc. Viv. Terminal.

Figura 78

Ubicación del Punto 20: Asoc. Viv. Terminal., y perfil de elevación respectivo.



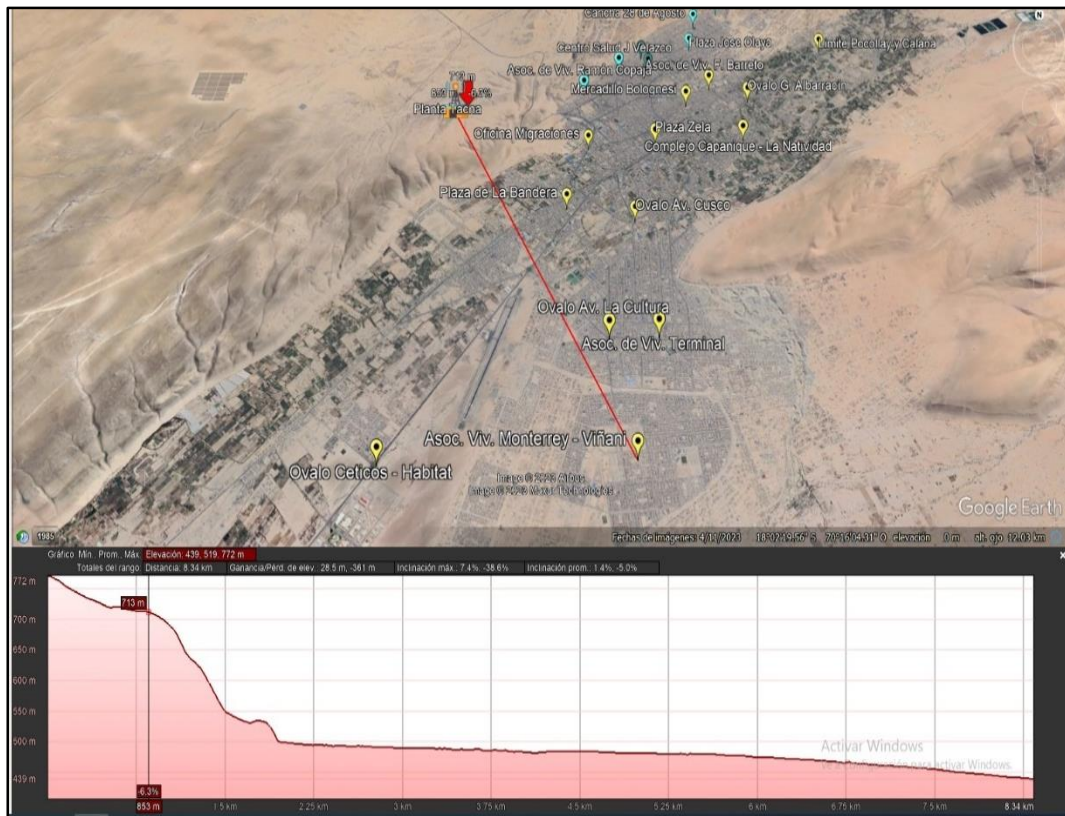
Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 78 que en el trayecto de la señal no existe ninguna elevación muy pronunciada respecto a la línea de vista.

- Punto 21: Asoc. Viv. Monterrey - Viñani.

Figura 79

Ubicación del Punto 21: Asoc. Viv. Monterrey – Viñani, y perfil de elevación respectivo.



Nota. Elaboración propia

Se observa en la figura 79 que en el trayecto de la señal existe una leve elevación de 713m ubicada a 853m de distancia de la Planta de Transmisión, que no causa ninguna interferencia. Solamente la distancia hacia el punto de medición que es de 8.34km puede producir una atenuación de la señal, la cual se puede compensar con la señal reflejada en una elevación cercana al punto que incrementa, en algo, la potencia recibida.

4.2.4 Elección del modelo de propagación

Una vez realizadas las mediciones de recepción en varios puntos fijos de la ciudad de Tacna, se comparan con las predicciones de cobertura realizadas con el simulador XIRIO Online para los 3 modelos en evaluación. Se escogerá el modelo de propagación que más se acerca a las medidas tomadas en el estudio de campo.

El modelo o método de propagación elegido se usará en el diseño de la red de frecuencia única. Con el conocimiento previo que ciertas zonas de los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva son zonas de sombra para la señal del canal 9 VHF que es el que corresponde a la señal de televisión analógica se tomaron mayor cantidad de puntos de medidas en dichas zonas para confirmar que se mantienen como zonas de sombra.

Tabla 17

Medidas de Intensidad de Campo y Valores de estimados en simulación

Lugares	Medidas (dbuV)	Método 1: Okumura Hata Modificado	Método 2: UIT-R P.1546	Método 3: UIT-R P.526-15
Plaza José de San Martín Alto Alianza	48.60	46.10	61.69	47.46
Plaza José Olaya Ciudad Nueva IEI Jesus	50.90	48.21	58.89	56.38
Misericordia limite Ciudad Nueva Cancha 28 de Agosto Ciudad Nueva	34.00	45.61	50.29	57.50
Terminal Collasuyo Alto Alianza	41.10	46.10	53.37	54.85
Centro de Salud J Velazco Alto Alianza	35.40	39.15	58.42	49.90
Asoc. Ramón Copaja Alto Alianza	46.10	50.17	60.66	49.50
Oficina de Migraciones Tacna Plaza Zela Tacna	45.60	54.44	67.06	53.34
Mercadillo Bolognesi Tacna Asoc. Viv. F. Barreto Pocollay	68.16	71.29	70.35	87.52
Óvalo Gregorio Albarracín Pocollay	59.90	63.53	66.80	85.32
	53.20	61.64	63.50	83.15
	56.80	59.14	61.29	81.75
	72.70	56.98	59.98	80.81

Límite Pocollay con Calana	60.10	51.69	54.34	78.16
Restaurant El Patroncito Calana	48.60	40.23	46.81	73.30
Complejo Capanique Tacna	58.40	58.52	61.82	81.83
Ovalo Avenida Cusco Tacna	74.30	69.16	67.20	84.77
Plaza de la Bandera - Para Chico Tacna	73.90	76.50	74.06	90.79
Ovalo Ceticos - Habitat Tacna	64.60	64.89	65.16	82.44
Ovalo Avenida La Cultura Gregorio Albarracín	73.90	70.40	69.39	86.98
Asoc. Viv. Terminal Gregorio Albarracín	60.30	68.29	67.25	85.26
Asoc. Viv. Monterrey	62.90	66.56	66.32	84.40

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 17 se muestran las medidas de recepción de intensidad de campo eléctrico y los valores de campo eléctrico que se obtuvieron mediante simulación con los tres modelos de propagación en los 21 puntos escogidos en la ciudad de Tacna.

En la Tabla 18 se puede apreciar la diferencia o desviación de los valores de intensidad de campo eléctrico medidos y valores obtenidos mediante simulación de los tres modelos de propagación evaluados en los 21 puntos determinados en la ciudad de Tacna.

Tabla 18

Diferencia entre las medidas tomadas en el estudio de campo y las medidas obtenidas mediante simulación en los tres modelos de propagación

Lugares	Medidas (dbuV)	Desviación 1: Okumura Hata Modificado	Desviación 2: UIT-R P.1546	Desviación 3: UIT-R P.526-15
---------	----------------	---------------------------------------	----------------------------	------------------------------

Plaza José de San Martín Alto Alianza	48.60	2.51	13.09	1.14
Plaza José Olaya Ciudad Nueva IEI Jesus	50.90	2.69	7.99	5.48
Misericordia limite Ciudad Nueva	34.00	11.61	16.29	23.50
Cancha 28 de Agosto Ciudad Nueva	41.10	5.00	12.27	13.75
Terminal Collasuyo Alto Alianza	35.40	3.75	23.02	14.50
Centro de Salud J Velazco Alto Alianza	46.10	4.07	14.56	3.40
Asoc. Ramón Copaja Alto Alianza	45.60	8.84	21.46	7.74
Oficina de Migraciones Tacna	68.16	3.13	2.19	19.36
Plaza Zela Tacna Mercadillo	59.90	3.63	6.90	25.42
Bolognesi Tacna Asoc. Viv. F.	53.20	8.44	10.30	29.95
Barreto Pocollay Óvalo Gregorio	56.80	2.34	4.49	24.95
Albarracín Pocollay	72.70	15.72	12.72	8.11
Límite Pocollay con Calana	60.10	8.41	5.76	18.06
Restaurant El Patroncito Calana	48.60	8.37	1.79	24.70
Complejo Capanique Tacna	58.40	0.12	3.42	23.43
Ovalo Avenida Cusco Tacna	74.30	5.14	7.10	10.47
Plaza de la Bandera - Para Chico Tacna	73.90	2.60	0.16	16.89
Ovalo Ceticos - Habitat Tacna	64.60	0.29	0.56	17.84

Ovalo Avenida La Cultura Gregorio Albarracín Asoc. Viv.	73.90	3.50	4.51	13.08
Terminal Gregorio Albarracín Asoc. Viv. Monterrey	60.30	7.99	6.95	24.96
PROMEDIO SIMPLE		5.36	8.52	16.58

Nota. Elaboración propia

Para determinar el modelo de propagación con menor error respecto a los valores reales medidos, se utilizó el método del Error Cuadrático Medio (RMSE). RMSE. (López, 2018)

La ecuación para obtener el valor de RMSE en dB está determinada por:

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Vm_i - Ve_i)^2} \quad (27)$$

Donde:

- n = número de puntos de evaluación
- Vm_i = valor de la medición real en cada punto
- Ve_i = valor estimado de la simulación en cada punto

Aplicando este criterio de evaluación de error, se presenta la Tabla 19 los siguientes resultados obtenidos: (López, 2018)

Tabla 19

RMSE para Evaluación de los Modelos de Propagación

ERROR CUADRÁTICO MEDIO	Okumura Hata Modificado	UIT-R P.1546	UIT-R P.526-15
RMSE (dB)	6.52	10.63	18.41

Nota. Elaboración propia

De acuerdo a las Tablas 18 y 19 se puede apreciar que el modelo de propagación Okumura-Hata Modificado es el que más se acerca al valor real medido debido a que tiene menos error simple y menos error cuadrático medio RMSE en dB. El otro modelo que más se acerca es el Modelo UIT-R P.1546, que es el que recomienda la ABNT-NBR, pero se va a realizar el diseño y simulación con el modelo Okumura-Hata Modificado, que es uno de los que utiliza el software XIRIO Online. Además, se puede apreciar en las tablas y posteriormente se mostrará la gráfica del resultado de la simulación, que con la TDT se mantiene una cierta zona de sombra sobre los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva, por lo que se justifica la presente investigación y el diseño de una red de frecuencia única para solucionar este problema de cobertura para la estación de televisión de América Televisión Tacna.

4.3. Simulación de cobertura para Tacna utilizando XIRIO Online

El simulador en línea XIRIO Online fue el que se escogió para realizar la predicción de cobertura del canal 9.1 de TDT en Tacna. Para ello se utilizó información de la estación de dicho canal a la que pude tener acceso debido a que trabajo en dicha empresa, aunque son parámetros técnicos que pueden ser accesibles de acuerdo a la información contenida en diversos portales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Los parámetros necesarios para la simulación fueron:

Transmisor:

- Coordenadas de ubicación.
- Estándar de TDT: ISDB-Tb.
- Potencia de RF.
- Canal radioeléctrico.
- Canal digital.
- Tipo de antena.
- Polarización.
- Ganancia.

- Diagrama de radiación.
- Alimentador de antena.
- Altura de antena.
- Altura del punto de ubicación.
- Formato de servicio.

Receptor:

- Sensibilidad del receptor (umbral de recepción).
- Tipo de antena receptora.
- Ganancia.
- Altura

Cobertura:

- Cartografía utilizada.
- Modelo de propagación o método de cálculo.
- Atenuación por emplazamiento y desvanecimientos.
- Área de cálculo
- Rangos de cobertura.

4.3.1 Elección de parámetros del transmisor

Los parámetros que se utilizarán en la simulación son:

- Coordenadas geográficas que se introducen en formato DMS (grados minutos y segundos).
- Se utilizará el estándar ISDB-T definido por ARIB para la simulación de cobertura al ser igual que el estándar ISDB-Tb en ese aspecto de su funcionamiento.
- La categoría de transmisión debe especificar la potencia nominal del transmisor en Watts, de ésta se desprende la PRE (Potencia Radiada Efectiva) de RF.

- La Frecuencia de portadora del transmisor, indicada en la tabla de frecuencia central para el canal 24 UHF.
- El ancho de banda del canal que es para nuestro país de 6 MHz.
- El tipo de antena de transmisión y su diagrama de radiación.
- El formato de servicio o en todo caso si es para HD o One seg. En este caso se trabajará solo con HD porque todas las medidas y simulaciones están sobre este formato.

4.3.2 Elección de parámetros del receptor

Los parámetros que se utilizarán para el receptor en la simulación son:

- Umbral de recepción, también llamado sensibilidad del receptor, expresado en $\text{dB}\mu\text{V/m}$, que para nuestro estudio estamos tomando la recomendación de la ABNT NBR que es de $51 \text{ dB}\mu\text{V/m}$.
- El tipo de antena receptora que es especial para el servicio de televisión digital terrestre, generalmente es una antena muy directiva como la antena Yagui de 14 dBi.
- La altura de la antena receptora que se está considerando para este estudio es de 3 metros como antena externa.

4.3.3 Elección de parámetros de cobertura

Los parámetros que se utilizarán para la simulación de cobertura son:

- Se usará el tipo de cartografía MDT, capa de altimetría mundial, 400 m/pixel que utiliza el XIRIO Online, de manera gratuita.
- El método de cálculo o modelo de propagación que se usó fue el Okumura-Hata Modificado que es un método que utiliza XIRIO Online válido de 150 MHz a 2 GHz y que es un modelo basado en el Okumura-Hata pero corregido por la difracción en obstáculos, y que además es el método que más se acerca a los valores medidos en el estudio de campo

- Área de cálculo definida por el diseño para toda la ciudad de Tacna y alrededores.
- Para el rango de cobertura se utilizaron los valores predefinidos por el simulador y se agregó un nivel de medida de 51 a 60 dB μ V/m. Hay otros niveles más de 60 a 70 dB μ V/m y de 70 a 80 dB μ V/m.

4.3.4 Simulación de cobertura en la ciudad de Tacna

Utilizando el simulador XIRIO Online se realiza una simulación para determinar la cobertura de la señal del canal 24 UHF de TDT en la ciudad de Tacna. Se utilizó la información técnica del canal 24 para este efecto, con la cartografía MDT que utiliza el simulador y el método de cálculo Okumura-Hata Modificado.

El área de cobertura se determinó de acuerdo al mapa que se observó a través del Google Earth Pro y el mismo simulador XIRIO Online en la ciudad de Tacana desde el distrito Gregorio Albarracín hasta el inicio del distrito de Calana, inclusive.

En la figura 80 se muestran los parámetros ingresados al simulador en el menú del estudio de cobertura.

Figura 80

Propiedades del estudio de cobertura para el canal 24 de TDT en Tacna

Propiedades del estudio de Cobertura

Estudio

Nombre:

Grupo:

Servicio: ISDB-T

Banda:

Descripción:

Fecha de última puesta en servicio/apagado:

Estado:

Extremos

Transmisor:

Parámetros de recepción:

Parámetros de cálculo

Método de cálculo:

Método híbrido basado en Okumura-Hata corregido por las difracción en obstáculos, válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos urbanos cuando se disponga de cartografía de alta resolución.

Capas de cartografía:

Tipo	Nombre	Año	Res. (m)
MDT	Altimetría mundial	2006	100

Área del cálculo:

Rangos:

Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

En la figura 81 se muestran los parámetros ingresados al simulador en el menú del estudio de cobertura.

Figura 81

Propiedades del Transmisor para el canal 24 de TDT en Tacna

Propiedades del transmisor

Transmisor

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento: + ?

Coordenadas 📍 🗺️ 📏 📐 🌐 📶

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio

Antena: 📄 ✖️ 🔄 ?

Altura antena: m

Orientación: °

Inclinación mecánica: °

Inclinación eléctrica: °

Referencia de alturas de antenas

Alturas respecto a:

Usar altura de edificio:

Altura edificio: m

Frecuencias de transmisión

Frecuencias
533.143 MHz

Polarización:

Feeder: + ?

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 📄

Pérdidas pasivos: dB

Potencia: W ▼

Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022


El sistema de antenas del Transmisor de la estación ubicada en el Cerro Para (conocido como Cerro Alto de la Alianza) está conformado por un arreglo de 6 paneles UHF polarización horizontal AT15-250 en una configuración 2-4 (orientación de radiación 70° y 160°), en un apilado de 2 pisos y 4 pisos, patrón de radiación tipo cardioide y ganancia máxima de 15.03 dBd. En las figuras 82 y 83

podemos observar las propiedades del diagrama de radiación de antena, así como el diagrama de radiación horizontal.

Figura 82

Propiedades del Diagrama de Radiación canal 24 de TDT en Tacna

Propiedades del Diagrama de Radiación

 El diagrama de atenuaciones no tiene ningún valor 0. Los cálculos realizados con el mismo pueden ser erróneos.

Propiedades

Tipo de diagrama: Copolar Xpolar

Polarización: Horizontal ▼

Ganancia: 4 dB

Frecuencia inicial: 470 MHz ▼

Frecuencia final: 860 MHz ▼


Tilt eléctrico: 0 °


XPD 90: 0 dB

Ancho de haz: 360 °

Rel. delante/atrás: -25.5 dB

Diagrama horizontal

Diagrama horizontal




Diagramas verticales

+

No se ha definido ningún diagrama vertical

Aceptar
Aplicar
Recargar
Cancelar

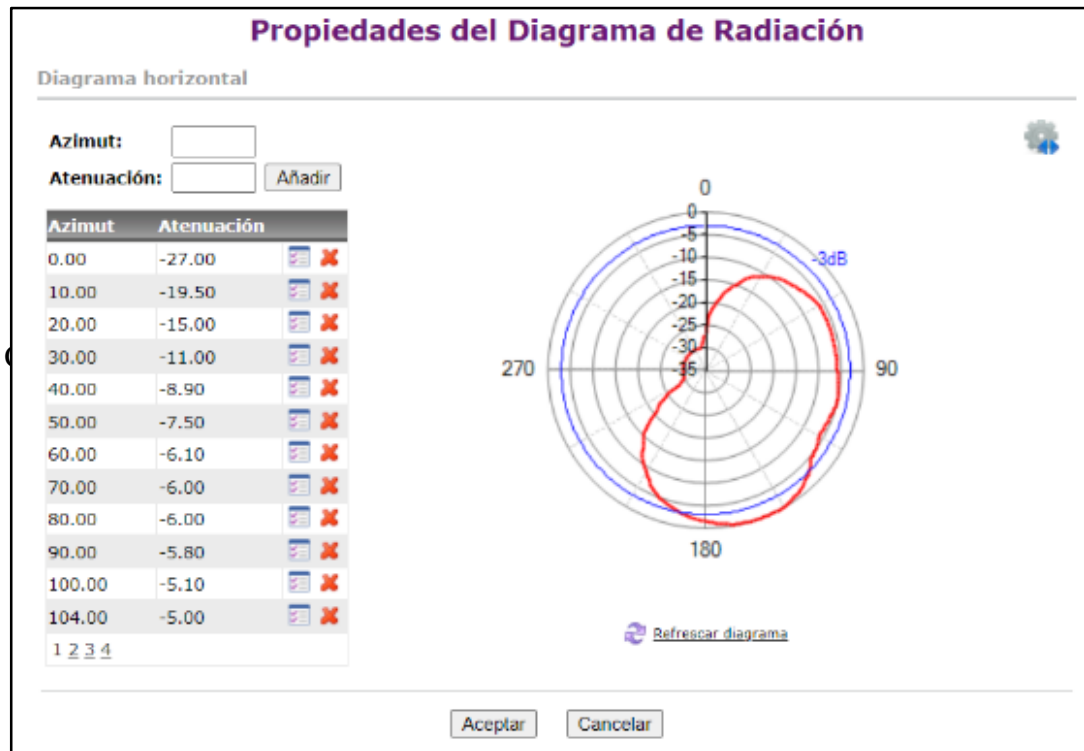
Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

En la figura 83 se muestra el diagrama de radiación horizontal del sistema de antenas. En el diagrama se configuran los valores de atenuación donde el valor

de 0dB se considera la máxima ganancia del sistema, que como ya se ha indicado es un arreglo de antenas panel con 2 azimut de 70° y 160°.

Figura 83

Diagrama de Radiación Horizontal canal 24 de TDT en Tacna



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

En cuanto al sistema de recepción para el estudio de cobertura, se configuró una antena de TDT para hogar, el tipo de antena es una Yagui de 14 dBi conectada al receptor con un cable coaxial de 75 Ω de impedancia característica, colocada a una altura de 3 m y un largo de alimentador de 5 m, considerando que donde más se requiere analizar es en zonas de ladera de cerros donde no se pueden construir casas de muchos pisos, por lo que se estima que la mayoría de casas es de 3 metro de altura y la antena es aérea colocada en una posición fija. La sensibilidad del receptor se fija por norma en 51 dB μ /m según la norma dada por ABNT NBR. En la figura 84 se pueden observar los parámetros de radio del receptor seleccionados para el estudio de cobertura.

Figura 84

Parámetros de Radio de canal 24 de TDT en Tacna

Parámetros de radio

Parámetros de radio

Antena: Yagi 14 dBi 36°

Altura antena: 3 m

Polarización: Horizontal

Feeder: Cable coaxial

Longitud del feeder: 5 m

Pérdidas del feeder: 0.18 dB

Pérdidas pasivos: 0.2 dB

Umbral recepción: Campo Potencia

51 dBu

Aceptar Aplicar Recargar Cancelar

Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Teniendo todos estos datos se realiza el cálculo con el software de simulación. Escogemos el cálculo gratuito a baja resolución. En la figura 85 se muestra la imagen de la ventana que aparece antes de validar los datos para el cálculo. Ahí se aprecia el tipo de cartografía MDT Altimetría mundial del año 2006, con una resolución de 400 m/pixel.

Figura 85

Cálculo de estudio de canal 24 de TDT en Tacna


Calculo de estudio

Estudio a calcular

Tipo de estudio: Cobertura
Nombre del estudio: Transmisor TDT Tacna

Parámetros del cálculo

Nombre del resultado:
Descripción:

Capas de cartografía: 

Tipo	Nombre	Año	Res. (m)
MDT	Altimetria mundial	2006	100

Resolución: m/pixel [Validar](#)

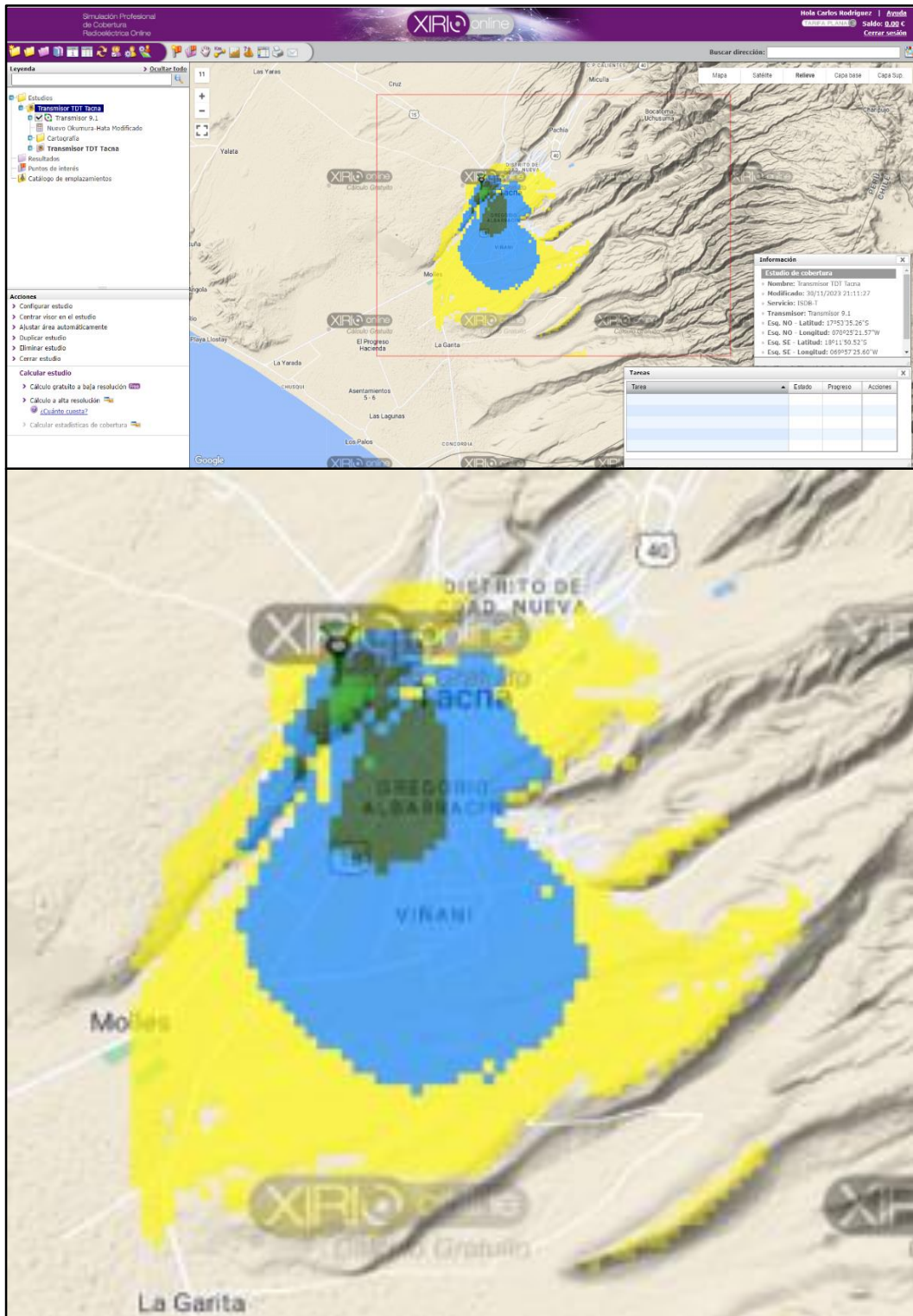
Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

En la figura 86 se puede observar el mapa de cobertura en el rango de nivel de señal que se ha configurado en valores de $\text{dB}\mu/\text{m}$ por zonas diferenciadas en colores, el color amarillo es el nivel más bajo que se ha considerado de $51 \text{ dB}\mu/\text{m}$ a $60 \text{ dB}\mu/\text{m}$, azul de $60 \text{ dB}\mu/\text{m}$ a $70 \text{ dB}\mu/\text{m}$, negro de $70 \text{ dB}\mu/\text{m}$ a $80 \text{ dB}\mu/\text{m}$ y verde de $80 \text{ dB}\mu/\text{m}$ a más.

En dicho mapa de cobertura se entiende que el valor mínimo de recepción es $51 \text{ dB}\mu/\text{m}$, por lo que cualquier valor debajo de éste se considera que tiene mala recepción o ninguna señal recibida de TDT. Así se determinan las zonas de sombra en partes de los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva.

Figura 86

Mapa de cobertura canal 24 de TDT en Tacna



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

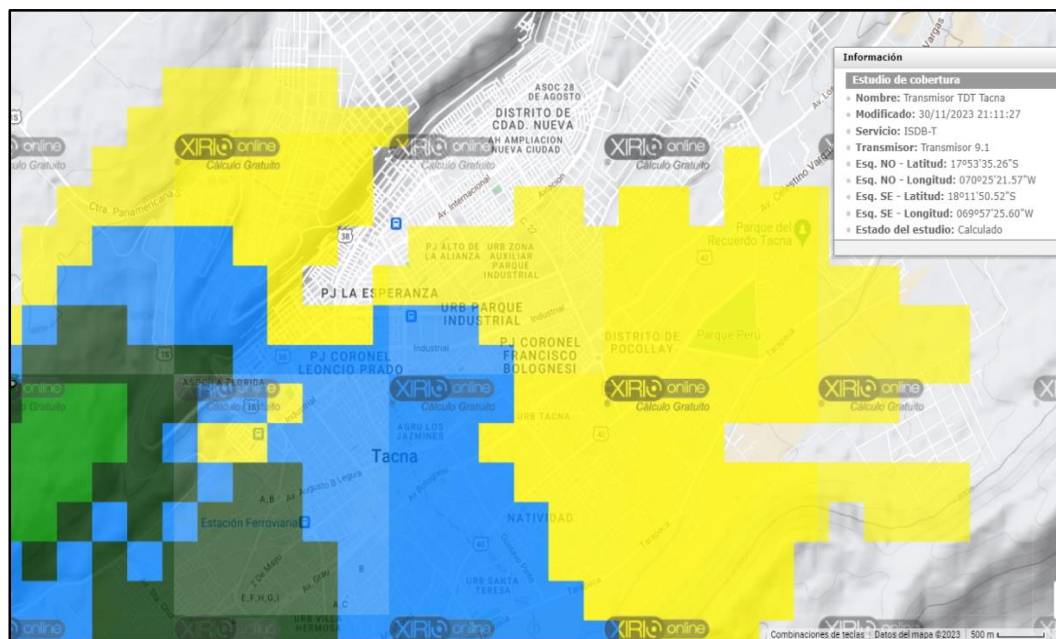
4.3.5 Determinación de las zonas de sombra en la ciudad de Tacna

La determinación de las zonas de sombra para la señal del canal 24 UHF de TDT ubicado en el Cerro Para de la ciudad de Tacna se verifica desde el resultado de la simulación de cobertura que se muestra en la figura 86.

En la figura 87 se muestra el mapa de cobertura enfocado en las áreas donde no se pinta el mapa con ningún color, para apreciar mejor las zonas de sombra en algunas zonas de los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva.

Figura 87

Zonas de sombra del canal 24 de TDT en Tacna



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Para determinar las zonas de sombra se ha considerado que el nivel mínimo de señal recibida es 51 dBμ/m, por lo que en el mapa se aprecia que las zonas sin color y aledañas al color amarillo están por debajo de dicho nivel mínimo, por tanto, esas son las zonas de sombra. Se ha considerado también que las zonas de sombra serán para lugares donde haya una población muy representativa que no puede recibir la señal del canal de TDT.

De esta manera se ha detectado una zona amplia y continua desde la Asociación de Vivienda Ramón Copaja del distrito Alto de la Alianza, pasando por varias otras asociaciones del distrito de Ciudad Nueva hasta varias asociaciones de la parte alta del distrito de Pocollay.

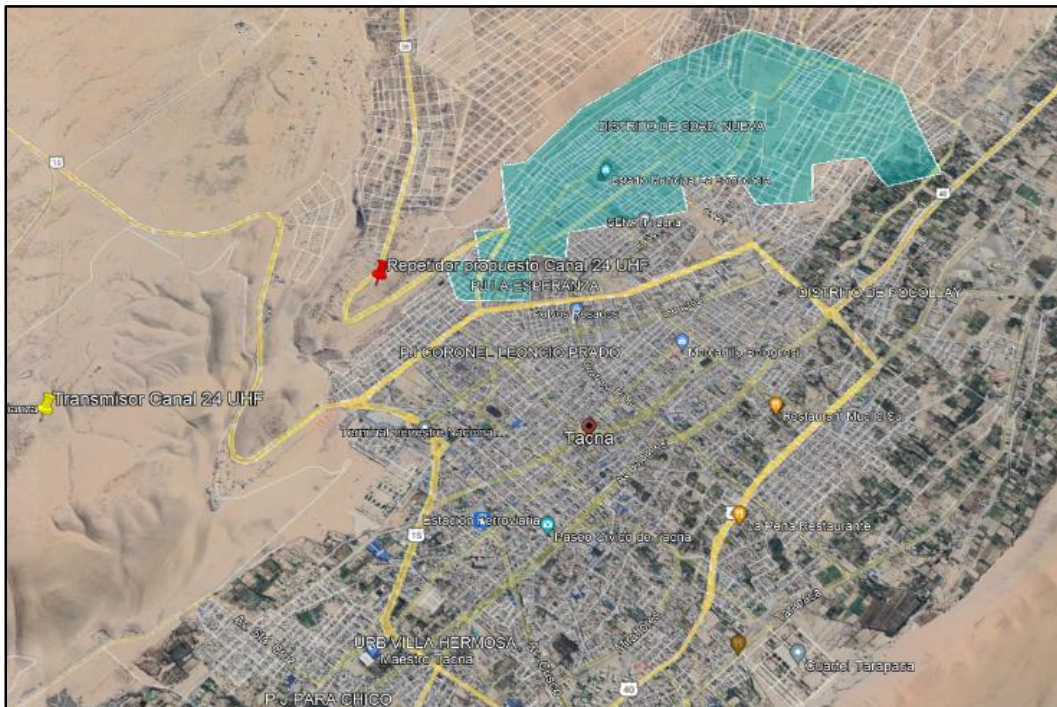
4.3.6 Reducción de las zonas de sombra en la ciudad de Tacna

Como ya se ha dicho en el anterior punto, son varios lugares donde no se recibe la señal de TDT proveniente del transmisor de Canal 24 UHF, ubicado en el Cerro Para. Para mostrar un detalle de esta zona de sombra que prácticamente es continua y es representativa en cuanto a la cantidad de población, recurrimos a la herramienta Google Earth Pro. En la figura 88 vemos la zona de sombra en un color celeste-turquesa para ese sector de la ciudad de Tacna. A continuación, se detallan los nombres de las asociaciones y sectores donde no llega bien la señal:

- Parte de la Asociación Ramón Copaja (A.A.)
- Cooperativa de Vivienda Gregorio Albarracín (A.A.)
- Asentamiento Humano Juan Velasco Alvarado (A.A.)
- Salida a Tarata (A.A.)
- Asociación Buena Vista (A.A.)
- Parte del Pueblo Joven San Martín (A.A.)
- Asentamiento Humano Ciudad Nueva (C.N.)
- Avenida Internacional (C.N.)
- Asociación de Vivienda Simón Bolívar (C.N.)
- Asociación de Vivienda 28 de agosto (C.N.)
- Asociación de Vivienda La Unión (C.N.)
- Avenida Mariano Necochea (C.N.)
- Asociación Santa Cruz de Belén (C.N.)
- Sector Barranquillo (C.N.)
- Asociaciones de vivienda alrededor del Cementerio de Pocollay (P.)

Figura 88

Zonas de sombra del canal 24 de TDT en Tacna vistas en Google Earth Pro

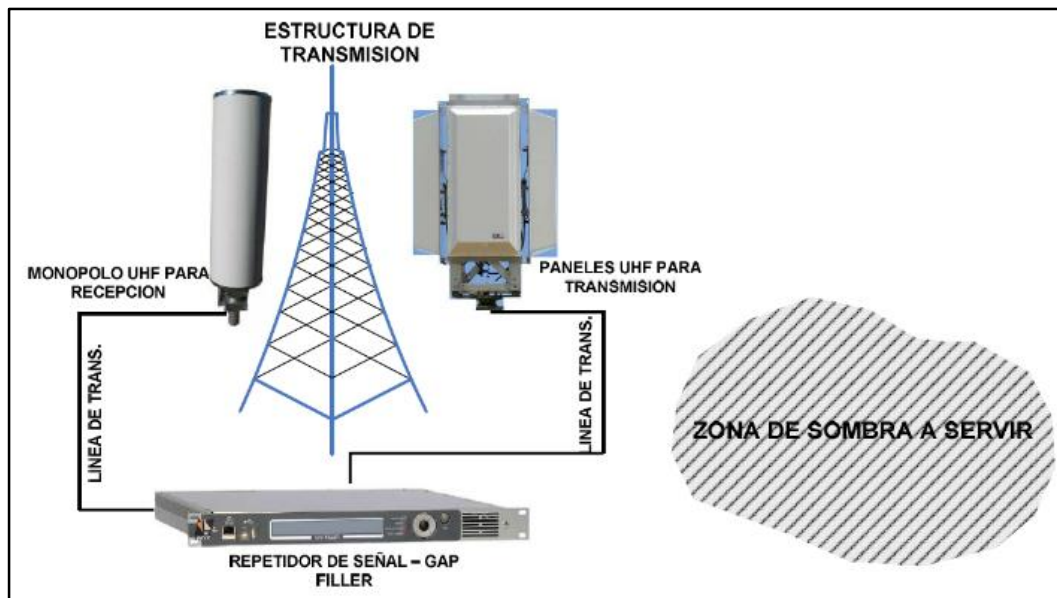


Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Para eliminar o disminuir las zonas de sombra el sector marcado en el mapa de la figura 88 se utilizará un repetidor tipo Gap Filler ubicado en el Cerro La Cripta que está marcado con un pin de color rojo en la misma figura. El diagrama de configuración del Gap Filler se muestra en la figura 89. En dicha figura se puede apreciar un esquema de transmisión básico para la utilización de repetidores para TDT mediante el uso de Gap Fillers. Para la recepción se utiliza una antena monopolo UHF (Patrón Omnidireccional), luego la señal ingresa al equipo repetidor donde puede existir 2 formas de tratamiento de la señal: con regeneración de la señal o directa. Con regeneración de la señal, esta es demodulada, se corrigen errores de trama y modulada nuevamente. De modo directo la señal no recibe tratamiento a nivel de trama y es amplificada nuevamente. Finalmente, la señal es radiada mediante el uso de paneles UHF hacia el sector a servir. (López, 2018)

Figura 89

Esquema Básico de un Sistema de Transmisión – GAP FILLER



Nota. Recuperado de López, 2018

4.3.6.1 Diseño del repetidor Gap Filler

En la figura 88 se aprecia el punto donde se ha determinado la ubicación del Gap Filler, que está en la zona denominada Cerro La Cripta pero que es parte del Cerro Intiorko. En este punto se ubica otra estación de televisión que cuenta con una torre de transmisión de 40 metros que puede ser utilizada mediante el régimen de compartición de infraestructura que fomenta el MTC. Este punto está en las coordenadas siguientes:

- Latitud: 17°59'31.97" SUR
- Longitud: 70°15'36.40" OESTE

Este punto es ideal porque está más cercano a las zonas más alejadas que no se han llegado a cubrir con el transmisor principal ubicado en el Cerro Para.

Tomando en cuenta el diagrama de la figura 89 se escoge un repetidor Gap Filler entre varios que existen en el mercado, siempre buscando un equipo que tenga todas las facilidades para evitar los ecos de la señal principal.

En la tabla 20 se puede apreciar las especificaciones técnicas del repetidor Gap Filler utilizado para este diseño.

Tabla 20

Especificaciones técnicas del Gap Filler

REPETIDOR GAP FILLER	
Marca	Rohde&Schwarz
Modelo	R&S TLU9
Ancho de Banda de Canal	6 / 8 MHz
Rango de Frecuencia UHF	470 MHz a 790 MHz
Entrada como Gap Filler	1 x RF (BNC, 50Ω)
Cancelador de Ecos	SI
Potencia máxima de operación	De 5 a 200W

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 21 se puede apreciar las especificaciones técnicas de la antena utilizada para recepción de la señal proveniente del transmisor principal.

Tabla 21

Especificaciones técnicas de la antena receptora

ANTENA RECEPTORA	
Marca	Linear
Modelo	PAN-TS4/U
Rango de Frecuencia UHF	470 MHz a 790 MHz
Polarización	Horizontal
Ganancia dBd	5
Ancho de Haz de media potencia	E=17°y H=360°

Nota: Recuperado de López, 2018

Para la antena transmisora se utilizó un arreglo de antenas adecuado para cubrir las zonas de sombra. Como la ubicación del repetidor está en el inicio de la zona con poca o nula cobertura, se utilizará un arreglo de 4 dipolos UHF y con un ancho de haz de 45° ; de esta manera se logrará cubrir las zonas con problemas que están en una sola dirección. En la Tabla 22 se especifican los detalles técnicos de esta antena transmisora. En la figura 90 se muestra el diagrama de radiación de la antena transmisora del Gap Filler.

Tabla 22

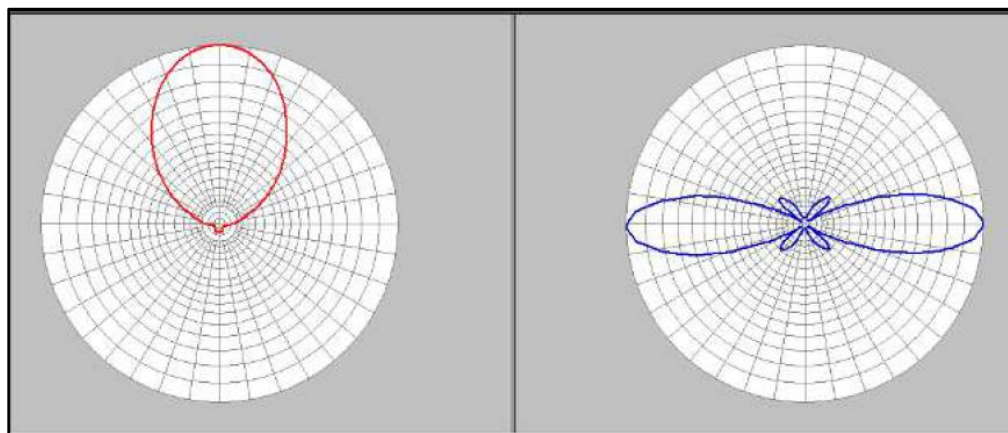
Especificaciones técnicas de la antena transmisora

ANTENA TRANSMISORA	
Marca	Linear
Modelo	PANEL API 4 DIPOLOS
Rango de Frecuencia UHF	470 MHz a 746 MHz
Ganancia (dBd)	12
VSWR	1.15:1
Polarización	Horizontal
Ancho de Haz de media potencia	E= 17° y H= 360°

Nota: Recuperado de López, 2018

Figura 90

Diagrama de radiación de la antena transmisora



Nota. Recuperado de López, 2018

4.2.6 Simulación de cobertura multitransmisor de la red SFN conformada por el Transmisor del Cerro Para y una Repetidora en el Cerro Intiorko en la ciudad de Tacna

Como ya se ha realizado la simulación para determinar la cobertura de la señal del canal 24 UHF de TDT en la ciudad de Tacna, ahora vamos a incluir este cálculo en un nuevo estudio denominado de multitransmisor utilizando XIRIO Online, ya que este programa lo permite. La red SFN se ha planificado para solucionar el problema de poca o nula cobertura en las zonas de sombra que se producen dentro de los distritos de Alto de la Alianza, Ciudad Nueva e inclusive parte de la zona alta del distrito de Pocollay.

Para la simulación se utilizó información técnica de acceso público de la estación de ATV en Tacna, fundamentalmente especificaciones de sistemas irradiantes, alimentador coaxial, conectores, combinadores, detalles de la estructura soporte de antenas, alturas, parámetros de transmisión entre otras.

La cartografía utilizada fue la MDT APTICA con una resolución de 400 m/pixel. Esta resolución, si bien es baja, permite resultados preliminares aceptables de predicción de cobertura en un área de varias decenas de km y es gratuita.

El método de cálculo utilizado fue el de Okumura-Hata Modificado, que posee el simulador y que fue el elegido para el caso bajo estudio.

En la figura 91 se muestra la configuración de los parámetros generales para nuestra red SFN denominada multitransmisor porque tiene el transmisor principal y el repetidor Gap Filler. Para esta simulación se considerará la cobertura hecha del Transmisor TDT Tacna que está ubicado en el Cerro Para (Transmisor Principal) y se configurarán los parámetros del retransmisor Gap Filler del Cerro Intiorko (La Cripta) para que se agreguen sobre la cobertura anterior. De esta manera se realizará la simulación de la cobertura de la red SFN para eliminar las zonas de sombra.

Figura 91

Propiedades del estudio de cobertura multitransmisor

Propiedades del estudio de Cobertura Multitransmisor

Estudio

Nombre: Cobertura Multitransmisor Canal 9.1 Digital

Grupo: CANAL 9

Servicio: ISDB-T

Descripción: Estudio de cobertura multitransmisor de Canal 9.1 Digital

Coberturas de red

Resultados 1-2 de 2

Color	Nombre
<input checked="" type="checkbox"/>	Repetidor Intiorko
<input checked="" type="checkbox"/>	Transmisor TDT Tacna

1 Coberturas del estudio: 2 (0 seleccionadas)

Parámetros de cálculo de señal

Tipo de servidor: Mayor señal

Limitar resultado de señal a zona de servicio

Considerar distancia máxima de mejor servidor

Distancia máxima de mejor servidor: 0 Km

Área del cálculo

Cartografía

Parámetros de interferencia

Rangos

Aceptar Aplicar Recargar Cancelar

Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

En la figura 92 se pueden observar las propiedades del transmisor del Gap Filler del Cerro Intiorko (La Cripta). Antes de esta configuración se debe programar, para este Gap Filler, el mismo método de cálculo basado en el modelo Okumura-Hata Modificado y un área de cobertura un poco mayor que el área de la zona de sombra anteriormente determinada.

Figura 92

Propiedades del transmisor del Gap Filler del Cerro Intiorko (La Cripta)

Propiedades del transmisor

Transmisor

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento: + -

Coordenadas 📍 🌐 📶 📱 🌍 📊

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio

Antena: 📄 ✖ 🔄 🌐

Altura antena: m

Orientación: °

Inclinación mecánica: °

Inclinación eléctrica: °

Referencia de alturas de antenas

Alturas respecto a: ▼

Usar altura de edificio: ▼

Altura edificio: m

Frecuencias de transmisión

Frecuencias
533.143 MHz 📄

Polarización: ▼

Feeder: + -

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 📱

Pérdidas pasivos: dB

Potencia: W ▼

Parámetros de radiodifusión digital

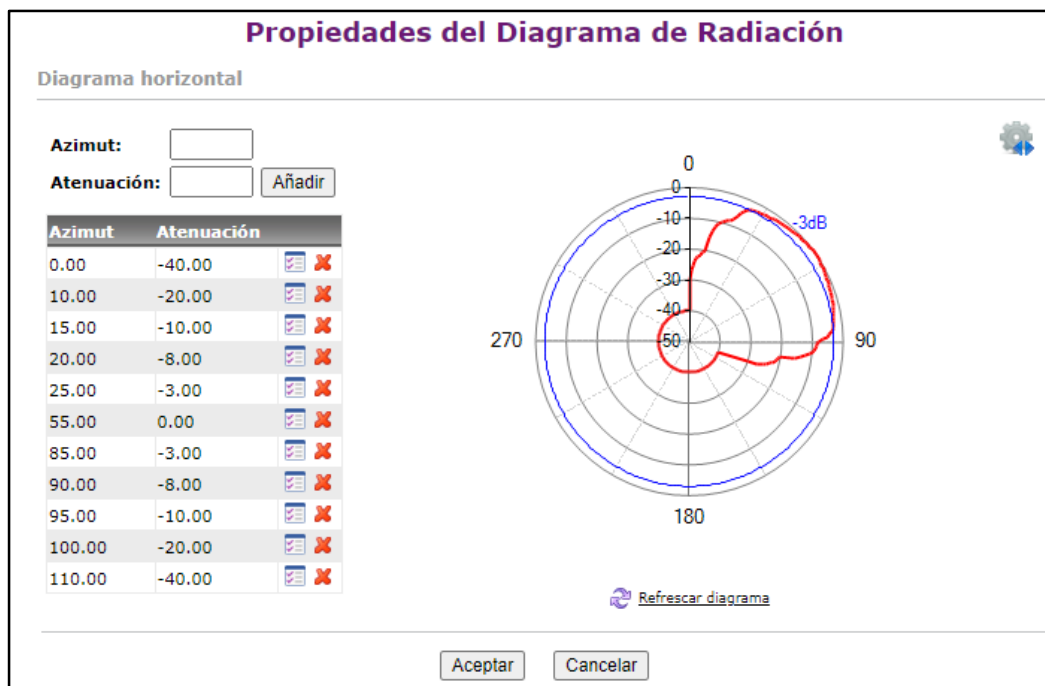
Retardo: μS

Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

En la figura 93 se muestran las propiedades del Diagrama de Radiación de la antena transmisora utilizada para el Gap Filler del Cerro Intiorko (La Cripta).

Figura 93

Propiedades del Diagrama de Radiación de la antena transmisora del Gap Filler

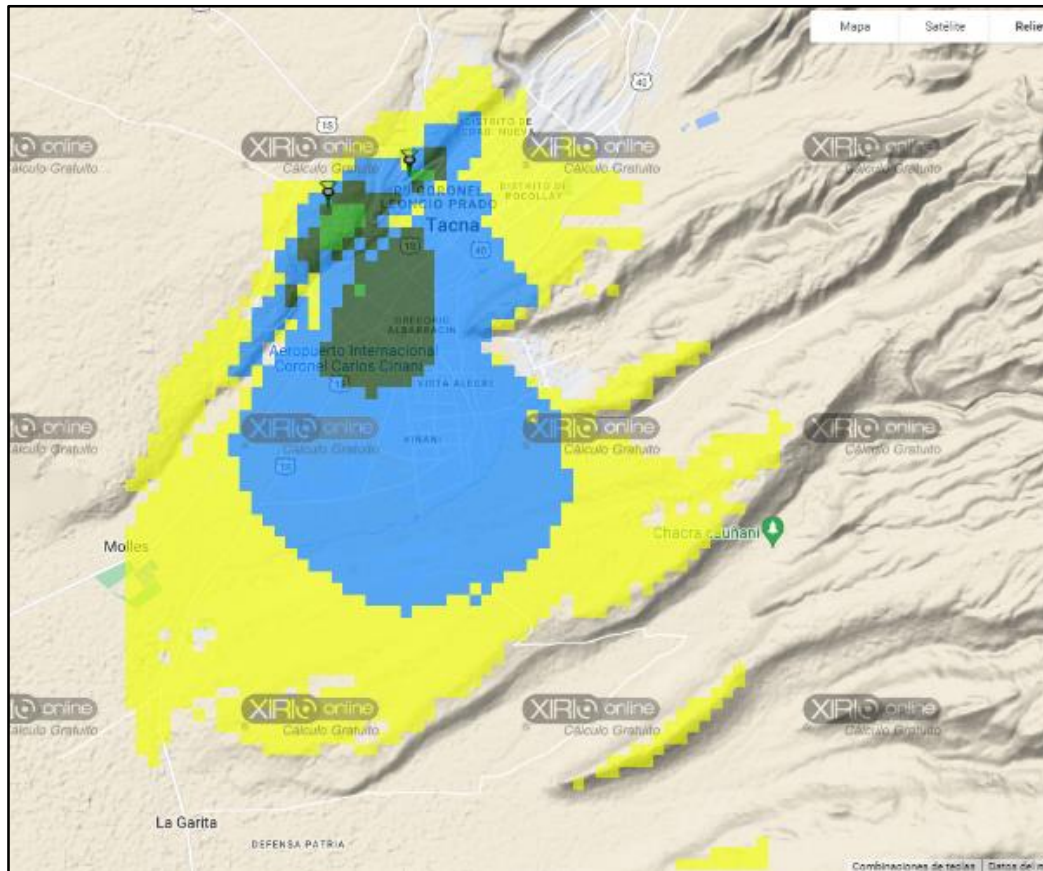


Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Finalmente, en la figura 94 se pueden observar los niveles de intensidad de campo medidos en el receptor aportados por el transmisor principal y el retransmisor Gap Filler que forman la red SFN, indicando además el mejor servidor. Se verifica un incremento del nivel de recepción en las zonas determinadas como zonas de sombra, comparadas con los niveles de cobertura obtenidas con el transmisor del Cerro Para únicamente.

Figura 94

Resultado de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF para la ciudad de Tacna

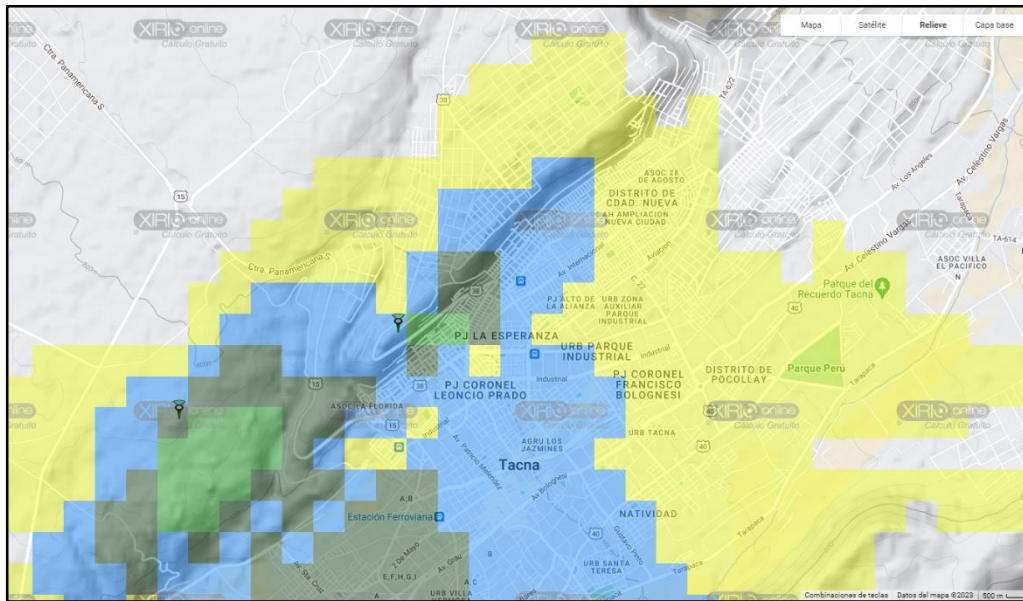


Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

En la figura 95 se hace un zoom a la zona donde se determinó zona de sombra para verificar que se ha mejorado o eliminado la zona de sombra.

Figura 95

Resultado de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF para la ciudad de Tacna en zoom



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Capítulo V: Análisis de resultados

5.1. Introducción

En este capítulo se realizará una comparación de las medidas de intensidad de campo obtenidas mediante el simulador XIRIO Online en las zonas que se determinaron como sombra. Para hacer la comparación se tomarán los datos de las zonas de los distritos de Alto de la Alianza y de Ciudad Nueva que se tomaron como puntos de referencia donde no hay señal o llega la señal de manera intermitente con congelamientos y pixeleos.

5.2. Comparación de las Medidas

En la tabla 22 se muestran las medidas de intensidad de campo que se obtienen del simulador XIRIO Online. Mediante una comparación directa se puede apreciar un mayor nivel de intensidad de campo en las zonas que antes tenían poca o nula cobertura.

Tabla 23

Diferencia entre las medidas tomadas en el estudio de campo, la simulación del transmisor del Cerro Para y la simulación de la red SFN para el canal 24 UHF de TDT bajo la norma ISDB-Tb

Lugares	Medidas de estudio de Campo (dbuV)	Medidas de la simulación con el transmisor principal	Medidas de la simulación con la Red SFN	Diferencia de red SFN con el transmisor principal
Plaza José de San Martín Alto Alianza	48.60	46.10	68.10	22.00
Plaza José Olaya Ciudad Nueva	50.90	48.22	58.90	10.68
IEI Jesús Misericordia	34.00	45.61	52.90	7.29

limite Ciudad Nueva				
Cancha 28 de Agosto Ciudad Nueva	41.10	46.10	55.30	9.2
Terminal Collasuyo Alto	35.40	39.15	66.80	27.65
Alianza Centro de Salud J. Velazco Alto	46.10	41.30	73.20	31.9
Alianza Asoc. Ramón Copaja Alto	45.60	54.44	62.40	7.96
Alianza				

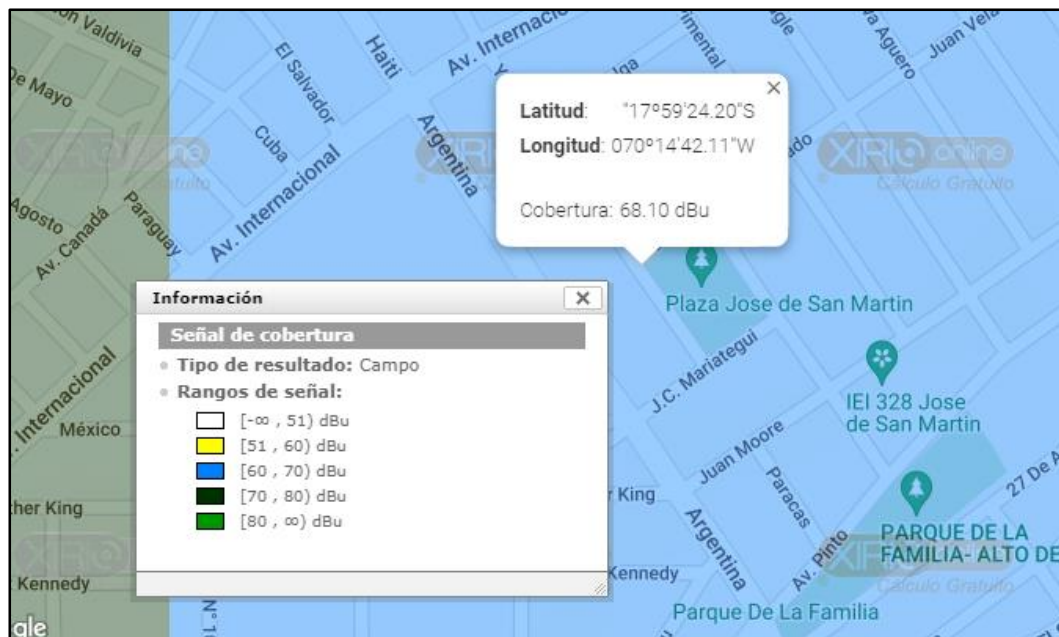
Nota. Elaboración propia

En la Tabla 23 hay una columna donde se indica la diferencia entre las medidas de la cobertura en los diferentes puntos escogidos y solo con el transmisor principal ubicado en el Cerro Para que no llega a los 51 dB μ /V. La diferencia es evidente y notoria, se ha solucionado el problema de cobertura con la colocación de un repetidor Gap Filler en el punto escogido y con la configuración realizada.

Para un mejor entendimiento de la forma en que el simulador XIRIO Online realiza la medida en los puntos escogidos, se muestran las imágenes de dichas medidas en el mapa de cobertura que se obtiene en el simulador. En las figuras 96, 97 y 98 se muestran las medidas que se toman con el simulador.

Figura 96

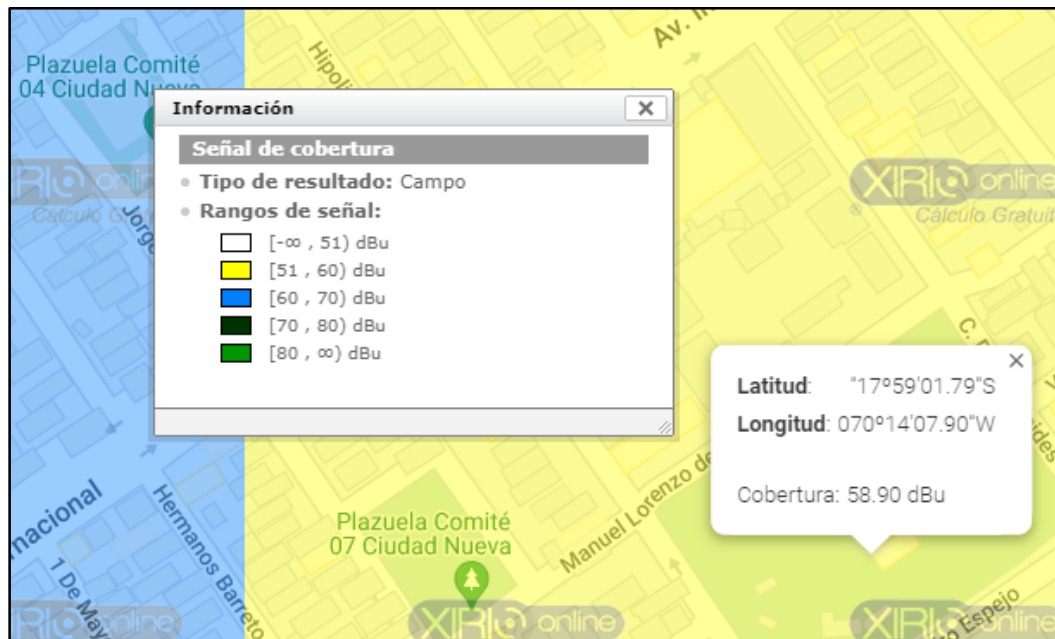
Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto de la Plaza José de San Martín Alto Alianza



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Figura 97

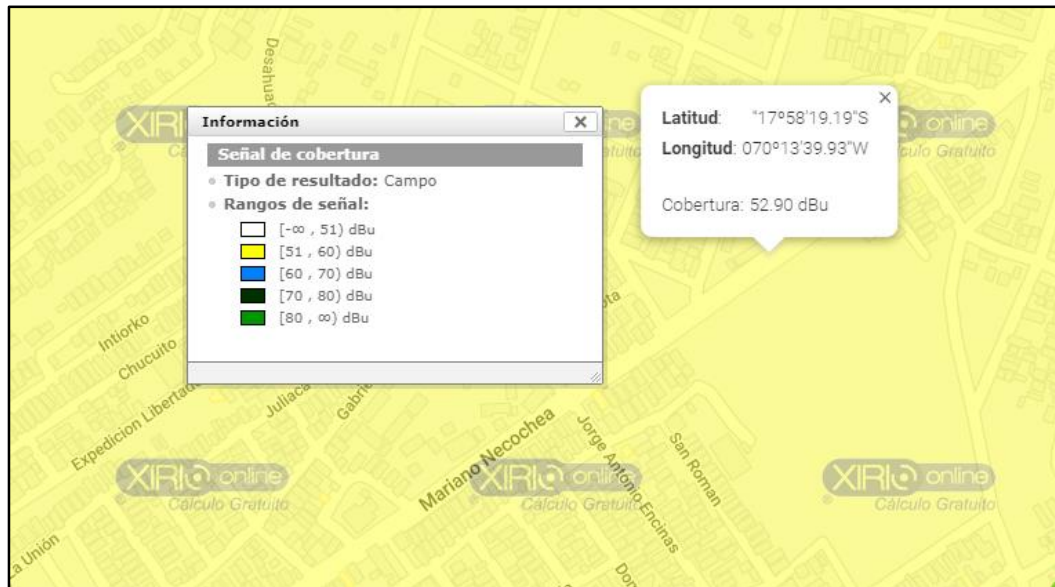
Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto de la "Plaza José Olaya Ciudad Nueva"



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Figura 98

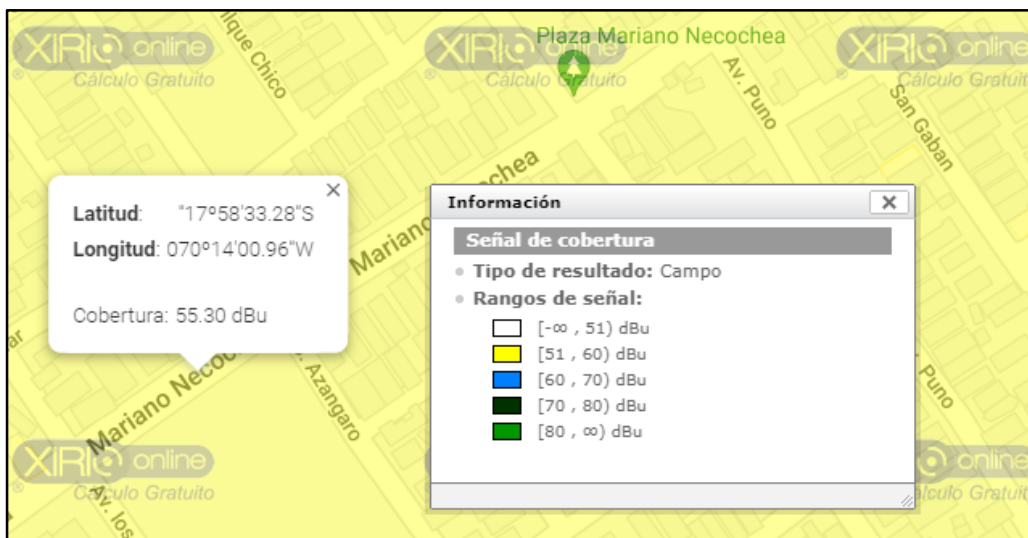
Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto del IEI Jesús Misericordia limite Ciudad Nueva



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Figura 99

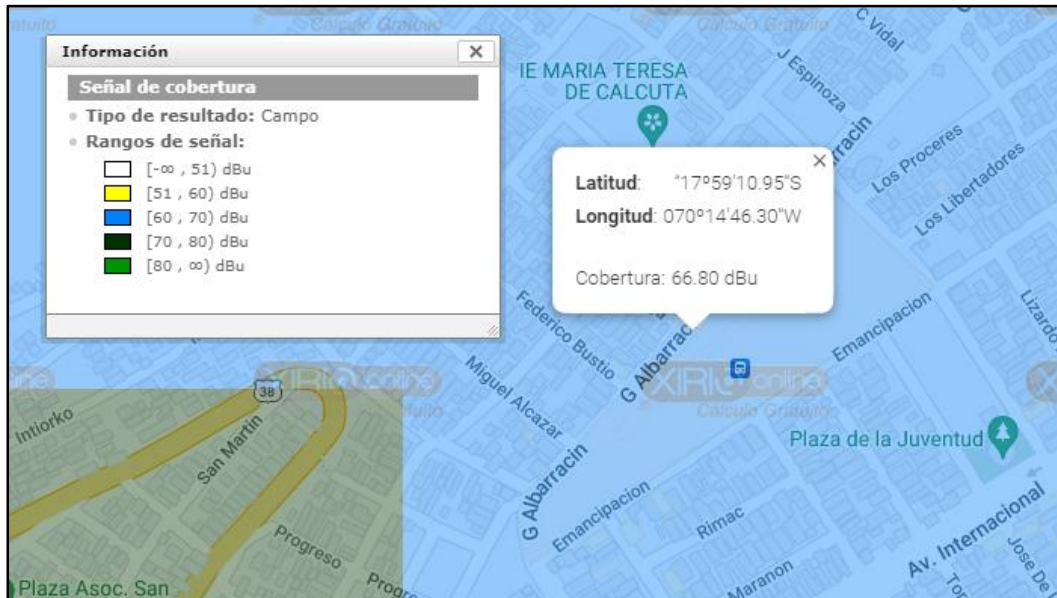
Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto de la Cancha 28 de Agosto Ciudad Nueva



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Figura 100

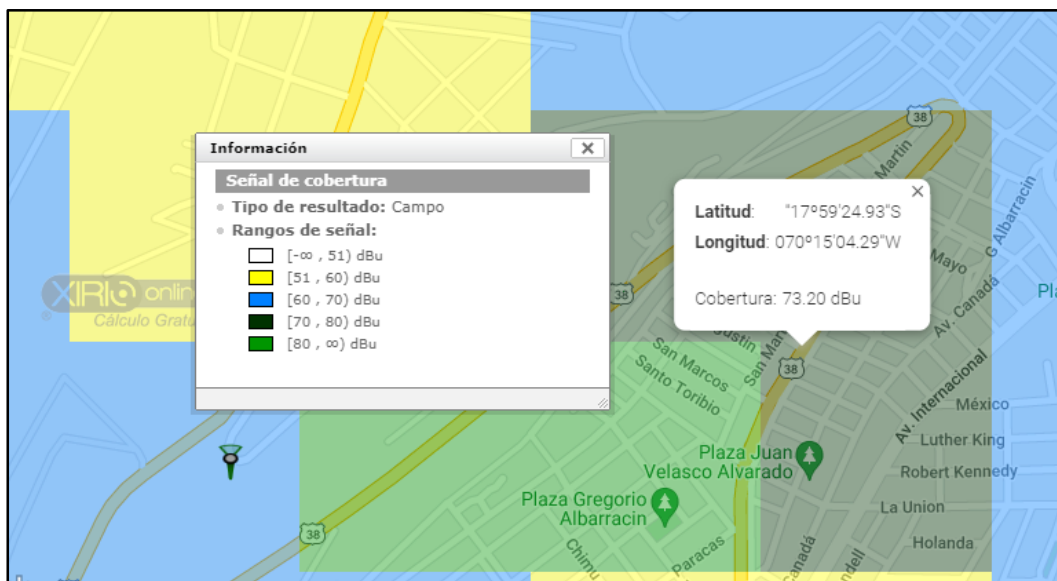
Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto del Terminal Collasuyo Alto Alianza



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Figura 101

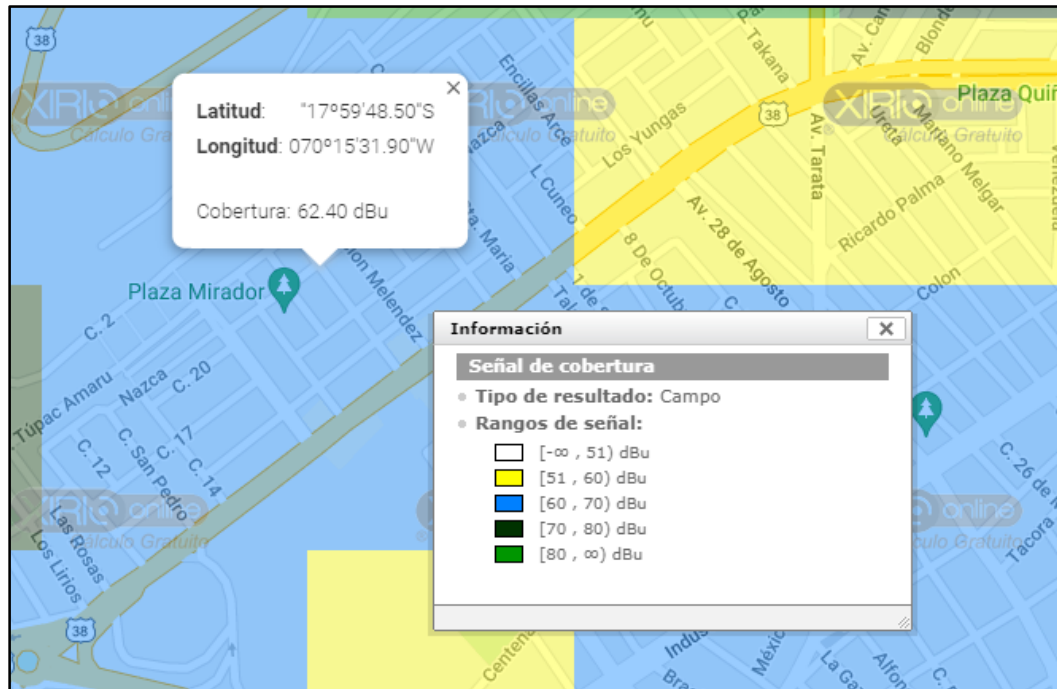
Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto del Centro de Salud J. Velasco Alto Alianza



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

Figura 102

Medida de la cobertura de la Red SFN del canal 24 UHF en el punto de la Asoc. Ramón Copaja Alto Alianza



Nota. Recuperado de Aptica. Xirio-Online, 2022

CAPÍTULO VI: Conclusiones y recomendaciones

6.1 CONCLUSIONES

Primera

Se comprobó que es posible implementar Redes de Frecuencia Única en las redes de televisión abierta del tipo digital, lo cual es una gran ventaja debido a que las redes SFN nos permiten ahorro del espectro electromagnético, ahorro de potencia y de consumo eléctrico, y, en comparación con las redes tradicionales analógicas, ese ahorro es muy significativo.

Segunda

Los modelos o métodos de cálculo de propagación de la señal radioeléctrica deben determinarse para cada ciudad o área en investigación, debido a que cada ciudad es diferente de otra en muchos aspectos, pero, sobre todo, en la altura de las edificaciones que existen en ese lugar. La altura de las edificaciones es uno de los puntos más significativos para determinar el modelo o método a elegir.

Tercera

Se llegó a comprobar que las zonas de sombra conocidas de la televisión analógica tradicional son una buena referencia para analizar con mayor incidencia en esas zonas para investigar la cobertura de un canal de televisión digital terrestre.

Cuarta

Finalmente se concluye que el uso de una herramienta de simulación o software, nos permite realizar diseños de redes de radiodifusión como la red SFN para TDT sobre la cual versó esta investigación. Inclusive una herramienta gratuita como el XIRIO Online nos ha permitido analizar la cobertura de la señal de un canal de televisión digital y de una red SFN con una gran calidad y resolución aceptable.

6.2 RECOMENDACIONES

Primera

Se recomienda analizar las interferencias que se producen entre los canales de televisión analógica y digital adyacentes que están funcionando en forma simultánea en la ciudad de Tacna.

Referencias bibliográficas

Acevedo, A., Gutiérrez, K. (2011). *Análisis y diseño de una Red de frecuencia única de Televisión Digital Terrestre para las estaciones Manjui, Calatrava y Boquerón de Chipaque en Bogotá.* (Tesis de grado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

Recuperado desde:

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6059/AcevedoArtecheAlexandra2011.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

ABNT NBR 15601, Televisión digital terrestre-Sistema de transmisión ISDB-Tb. (2007).

Recuperado desde: http://www.telemedia.puc-rio.br/~rafaeldiniz/public_files/normas/SBTVD/es/Transmicion/15601.pdf

ABNT NBR 15604, Televisión digital terrestre-Sistema de transmisión ISDB-Tb. (2007).

Recuperado desde: http://www.telemedia.puc-rio.br/~rafaeldiniz/public_files/normas/SBTVD/es/Transmicion/15601.pdf

ABNT NBR 15608, Televisión digital terrestre – Guía de operación Parte 1: Sistema de transmisión – Guía para implementación de la ABNT NBR 15601. (2007).

Recuperado desde: http://www.telemedia.puc-rio.br/~rafaeldiniz/public_files/normas/SBTVD/es/Guia%20de%20operacion/ABNTNBR15608_2D1_2008Esp.pdf

Aguirre, D., Benítez, J. (2016). *Diseño de una red de frecuencia única (R.F.U.) para operación de un canal de televisión UHF en la ciudad de Guayaquil* (Tesis de Maestría).

Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Recuperado desde:

[http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/37316?show=ful](http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/37316?show=full)
1

Aptica (2021). Xirio-Online. <https://www.xirio-online.com/web/>

Bizberge, A., Krakowiak, F., Labate, C., & Morone, R. (2013). Políticas de TDT: del predominio del mercado al desafío por un sistema democrático de televisión: *Las políticas de comunicación en el siglo XXI. Buenos Aires: La Crujía.*

Recuperado desde:

[https://www.academia.edu/32286773/Politicad_de_TDT_Del_predominio_del_mercado_al_desafio_por_un_sistema_democratico_de_television_201](https://www.academia.edu/32286773/Politicad_de_TDT_Del_predominio_del_mercado_al_desafio_por_un_sistema_democratico_de_television_2013)
3

De Alencar, M. (2009). *Digital Television Systems.* New York, NY, USA: Cambridge University Press first edition.

DiBEG, ISDB-T “Seminar, System of ISDB-T. Part 2: Transmisión System”. 18-mar-2009

Gonzales, G., Quiroz, Jorge. (2019). *Diseño del sistema de transmisión en base al estándar ISDB-T, para la óptima migración de televisión Analógica a Digital Terrestre en la estación Radiodifusora Sony TV-canal 33. Chiclayo - Lambayeque* (Tesis de Título). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.

Recuperado

desde:

<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3825>

ITU-R BT.2209-2. Calculation model for SFN reception and reference receiver characteristics of ISDB-T system. (2019).

Recuperado desde: <https://www.itu.int/pub/R-REP-BT.2209/es>

ITU-R BT.2386-3. Digital terrestrial broadcasting: Design and implementation of single frequency networks. (2020).

Recuperado desde: <https://www.itu.int/pub/R-REP-BT.2386>

Jarrín, R., Morejón, G. (2010): Diseño de una red de frecuencia única para un canal de televisión en la banda UHF con la norma ISDB-Tb para la zona geográfica P. Artículo publicado en Revista Politécnica, 2010, Vol. 31(2).

Recuperado desde:

https://www.researchgate.net/publication/285260702_Disenio_de_una_red_de_frecuencia_unica_para_un_canal_de_television_digital_con_la_norma_ISDB-Tb

Lopez, M. (2018). *Simulación y corrección de zonas de sombra para estaciones de televisión digital terrestre en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador.* (Tesis de Maestría). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Recuperado desde: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10883>

MTC (2021). Decreto Supremo que modifica el numeral 15.1 del artículo 15 del Plan Maestro para la Implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Perú, aprobado por Decreto Supremo N° 017-2010-MTC.

Recuperado desde:

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1689750/DS%20007-2021-MTC.pdf.pdf>

Moreno, C. (2019). *Estudio de la cobertura de la señal de TVD para las urbanizaciones de Puerto Azul y Los Ceibos*. (Tesis de Maestría). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
Recuperado desde: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12227>

Muñoz, K., Barrios, D. (2015). *Mejoramiento de Calidad de Servicio de Señal Abierta en una empresa televisiva de la Región Ica* (Tesis de Título). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Recuperado desde: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2132>

Pisciotta, N. (2010). *Sistema ISDB-Tb (Primera Parte)*. Material de Investigación, publicado por el Centro de Investigación Aplicada y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones (CIADE-IT) – Universidad Blas Pascal, Buenos Aires, Argentina.

Recuperado desde: http://www2.elo.utfsm.cl/~elo341/SistemaISDB_Tb.pdf

Pisciotta, N. O., Liendo, C. G., & Lauro, R. C. (2013). *Transmisión de televisión digital terrestre en la norma ISDB-Tb*. Cengage Learning Editores SA de CV.

Recuperado desde: <https://dokumen.pub/transmision-de-television-digital-terrestre-en-la-norma-isdb-tb-9781299875180-1299875181-9789871954131-9871954131.html>

Télé Satellite & Numérique (2022). *Tout savoir sur le DVB-T2, le futur de la TNT* (Artículo).

Recuperado desde: <https://www.telesatellite.com/articles/dvb-t2/>

Valdez, A. (2019). *Usos y consumos en los sitios web de los canales de televisión abierta en Barranquilla* (Tesis de Maestría). Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Recuperado desde: <https://silo.tips/download/usuarios-y-consumos-en-los-sitios-web-de-los-canales-de-television-abierta-en-barran>

Yaguana, M. (2018). *Análisis de cobertura del servicio de Televisión Digital y Analógica de la Estación ECUAVISA (Canal 8) en la ciudad de Quito, a través de un Software de Simulación EMLAB* (Trabajo de Titulación). Universidad de las Américas, Quito, Ecuador.

ANEXOS

ANEXO 1: Especificaciones técnicas de transmisor TDT

R&S®TMU9
Air-Cooled UHF
Transmitter Family
Maximum flexibility,
minimum TCO



 **ROHDE & SCHWARZ**

Specifications in brief

Specifications in brief		
Digital TV		
Standards		DVB-T, DVB-T2, DVB-H, ISDB-T, ISDB-T _s , ATSC, ATSC Mobile DTV
Channel bandwidth	DVB-T, DVB-H	5/6/7/8 MHz
	DVB-T2	1.7/5/6/7/8 MHz
	ATSC	6 MHz
	ISDB-T/ISDB-T _s	6/8 MHz
Inputs	DVB-T, DVB-H	2 × ASI (HP/LP), BNC 75 Ω, 2 × RJ-45
	DVB-T2	2 × ASI (HP/LP), BNC 75 Ω, 2 × RJ-45
	ATSC	2 × SMPTE310M or 2 × ASI, BNC 75 Ω, 2 × RJ-45
	ISDB-T/ISDB-T _s	2 × BTS, BNC 75 Ω, 2 × RJ-45
General data		
Frequency range	UHF bands IV/V	470 MHz to 862 MHz
Supply voltage		<ul style="list-style-type: none"> ⌈ 230 V; 2 wires + PE (L1/N/PE) ± 15% ⌈ 400/230 V, 4 wires + PE (L1/L2/L3/N/PE); ± 15%
Max. installation height	> 2000 m on request	2000 m above sea level
Operating temperature range		+1 °C to +45 °C
Relative humidity (max.)		95 %, non-condensing
Immunity ¹⁾	to fast transients and bursts in line with EC 61000-4-4	< 2 kV (AC supply), < 1 kV (signal inputs)
	to surges in line with EC 61000-4-5	symmetrical < 1 kV (e.g. L1-L2), unsymmetrical < 2 kV (e.g. L1-N)
Synchronization		
Reference frequency		10 MHz, 0.1 V to 5 V (V _{pp}) or TTL, BNC
Reference pulse		1 Hz, TTL, BNC
Operation		
Display unit with touchscreen and LEDs	optional	local operation and display
Ethernet interface, RJ-45		local, remote, standard web browser
	optional	network management interface via SNMP
Parallel remote interface	optional	floating contacts for messages and commands

ANEXO 2: Especificaciones técnicas de Gap Filler TDT

R&S®TLV9 | R&S®TLU9 LOW-POWER VHF/UHF TRANSMITTER AND GapFiller FAMILY

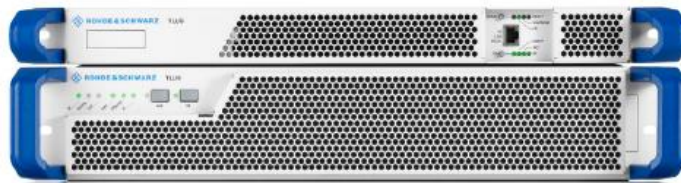
Powerful, reliable, smart



Product Brochure
Version 03.00

ROHDE & SCHWARZ
Make ideas real



R&S[®]TLU9, 1 RU and 2 RU modelR&S[®]TLU9 Low-Power UHF Transmitter and GapFiller

	R&S [®] TLU9 1 RU model			R&S [®] TLU9 2 RU model			
UHF digital TV transmitter							
Output power (RMS) ¹⁾ for DVB-T2, DVB-T, ISDB-T _B , DTMB, ATSC 1.0/ATSC 3.0	5 W	10 W	15 W	25 W	50 W	100 W	200 W
UHF digital TV gap filler							
Output power (RMS) ¹⁾ for DVB-T2, DVB-T, ISDB-T _B , ATSC 1.0/ ATSC 3.0	5 W	10 W	15 W	25 W	50 W	100 W	200 W
Dimensions (W × H × D)	483 mm (19") × 44 mm (1 RU) × 800 mm (19 in × 1.73 in (1 RU) × 23.62 in)			483 mm (19") × 88 mm (2 RU) × 450 mm (19 in × 3.46 in (2 RU) × 17.72 in)			

¹⁾ Before bandpass filter.

SPECIFICATIONS

Specifications		
Frequency range	VHF band III UHF band IV/V	170 MHz to 240 MHz 470 MHz to 790 MHz (790 MHz to 802 MHz on request)
Digital TV		
Standards	transmitter	DVB-T, DVB-T2, ISDB-T _B , ATSC 1.0/ATSC 3.0, DTMB
	gap filler	DVB-T, DVB-T2, ISDB-T _B , DTMB
Channel bandwidth	DVB-T	6/6/7/8 MHz
	DVB-T2	1.75/6/7/8 MHz
	ISDB-T/ISDB-T _B , DTMB	6 MHz/8 MHz
	ATSC	6 MHz
Transmitter inputs	DVB-T, DVB-T2, DTMB	2 × ASI (BNC, 75 Ω), 2 × TSolP (Gigabit Ethernet)
	ISDB-T/ISDB-T _B	2 × BTS (BNC, 75 Ω), 2 × TSolP (Gigabit Ethernet)
	ATSC	2 × SMPTE 310M or 2 × ASI (BNC, 75 Ω), 2 × TSolP (Gigabit Ethernet)
	DVB-S/DVB-S2 signal feeding (optional)	2 × F (75 Ω)
Retransmitter/translator input	DVB-T, DVB-T2, ATSC 1.0	1 × RF (BNC, 60 Ω), (170 MHz to 254 MHz and 470 MHz to 790 MHz)
Gap filler input	DVB-T, DVB-T2, ISDB-T _B	1 × RF (BNC, 60 Ω), (470 MHz to 790 MHz)
Digital radio		
Standards	transmitter	DAB, DAB+
Channel bandwidth	DAB, DAB+	1.636 MHz
Transmitter inputs	DAB, DAB+	2 × ETI (BNC, 75 Ω), 2 × EDI (Gigabit Ethernet)
Synchronization		
Reference frequency		10 MHz, 0.1 V to 6 V (V _{ref}) or TTL, BNC
Reference pulse		1PPS, TTL, BNC
GPS/GLONASS receiver sensitivity	optional for transmitter	-160 dBm (typ. -184 dBm), SMA bridge reference signal interruptions for up to 24 h
Integrated OCXO		
Operation		
Status panel with buttons and LEDs		local operation
Display unit with touchscreen	optional	local display and operation
Ethernet interface, RJ-45		web interface, local, remote
	optional	network management interface via SNMP
Parallel remote interface	optional	floating contacts for messages and commands
General data		
Supply voltage		100 V to 240 V ± 10%, 2 wires – PE (L1/N/PE), 60 Hz to 60 Hz ± 6%
Maximum installation altitude		3000 m above sea level (> 3000 m on request)
Operating temperature range		+1° to +45°C
Relative humidity (max.)		95%, non-condensing (indoors)
Immunity ²⁾	to fast transients and bursts in line with IEC 61000-4-4	+2 kV (AC supply), ±1 kV (signal inputs)
	to surges in line with IEC 61000-4-6	symmetrical: ±1 kV (e.g. L-N), asymmetrical: +2 kV (e.g. L-PE, N-PE)



ANEXO 3: Especificaciones técnicas de Medidor de Intensidad de Campo

GSERTEL

HEXYLON



HIGH PERFORMANCE PORTABLE METER INTENDED FOR PROFESSIONAL USERS
ADVANCED FEATURES AND HIGH MEASUREMENT ACCURACY

 User manual

Refs. 901620, 901621

www.gsertel.com

Technical Specifications

Frequency	
Range	5 - 3300 MHz
Accuracy	1 kHz
Tuning	Frequency or channel
Input	
Impedance	
Spectrum Analyser	
Span	100 kHz, 1, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 MHz, 1.0, 2.0 and 3.3 GHz. Other (any) value between 100 kHz and 3.3 GHz
RBW	500 Hz, 1, 3, 5, 10, 30, 50, 100, 300, 500 kHz, 1, 3, 5 MHz
Marks	Up to 4, with delta feature
Event trigger	✓
Waterfall	✓
Hold feature	Maximum and minimum
Reference level	Automatic and manual
Digital measurements DVB-T	
Modulations	COFDM (QPSK, 16QAM, 64QAM)
Power	20 - 128dBµV
CBBER	9.9E-2 - 1.0E-6
VBBER	1.0E-3 - 1.0E-8
MER	Up to 40dB
C/N	Up to 52dB
Echoes	✓
MER by carrier	✓
Constellation	✓
Uncorrected packets	✓
TILT	✓
Attenuation	✓
Digital measurements DVB-T2	
Modulations	COFDM (QPSK, 16QAM, 64QAM and 256QAM)
Power	20 - 128dBµV
LDPCBER	9.9E-2 - 1.0E-6
BCHBER	1.0E-3 - 1.0E-8
Link Margin	Up to 30dB
MER	Up to 40dB
C/N	Up to 52dB
Echoes	✓
MER by carrier	✓
Constellation	✓
Uncorrected packets	✓
TILT	✓
Attenuation	✓
Multiple PLP	✓

Specifications are subject to change without notice.

Digital measurements QAM (Anex A/B/C)	
Modulations	16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM and 2048QAM
Power	20 - 128dBµV
BER	1.0E-3 - 1.0E-8
MER	Up to 40dB
C/N	Up to 52dB
Constellation	✓
Uncorrected packets	✓
TILT	✓
Attenuation	✓
Digital measurements DVB-S	
Power	20 - 128dBµV
CBBER	9.9E-2 - 1.0E-6
VBBER	1.0E-4 - 1.0E-8
MER	Up to 20dB
C/N	Up to 30dB
Constellation	✓
Uncorrected packets	✓
TILT	✓
Attenuation	✓
Digital measurements DVB-S2X	
Modulations	QPSK, 8PSK
Power	20 - 128dBµV
Link Margin	Up to 10dB
MER	Up to 20dB
C/N	Up to 30dB
LDPCBER	9.9E-2 - 1.0E-6
BCHBER	9.9E-2 - 1.0E-8
Constellation	✓
Uncorrected packets	✓
TILT	✓
Attenuation	✓
Multi TS	✓
PLS scrambling	✓
Digital measurements DVB-S2	
Modulations	QPSK, 8PSK, 16PSK, 32PSK
Power	20 - 128dBµV
Link Margin	Up to 10dB
MER	Up to 20dB
C/N	Up to 30dB
LDPCBER	9.9E-2 - 1.0E-6
BCHBER	9.9E-2 - 1.0E-8
Constellation	✓
Uncorrected packets	✓

ANEXO 4: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO DEL PROYECTO: DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE PARA MEJORAR LA COBERTURA DE UNA ESTACIÓN DE TELEVISIÓN ABIERTA UBICADA EN EL CERRO PARA DE LA CIUDAD DE TACNA, 2022

AUTOR: Ing. Carlos Armando Rodríguez Silva

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
1. INTERROGANTE PRINCIPAL				
¿En qué medida el diseño adecuado de una Red de Frecuencia Única SFN mejorará cobertura de una estación de televisión abierta ubicada en el Cerro Para de la ciudad de Tacna?	<p>1. OBJETIVO PRINCIPAL</p> <p>Diseñar una Red de Frecuencia Única (SFN) que mejore la cobertura de una estación de televisión abierta ubicada en el Cerro Para de la ciudad de Tacna.</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>“El diseño de una red SFN de Televisión Digital Terrestre mejora la cobertura de una estación de televisión abierta ubicada en el Cerro Para de la ciudad de Tacna”.</p>	<p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></p> <p>Diseño la Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre.</p> <p><u>DIMENSIÓN 1:</u> Transmisión de la señal</p> <p>Indicadores:</p> <ol style="list-style-type: none"> Niveles de potencia. Niveles de intensidad de campo. 	<p><u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u></p> <p>Tipo aplicada con metodología cuantitativa.</p> <p><u>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u></p> <p>No experimental y transversal.</p>
2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS				
¿Cuáles son los parámetros técnicos que se deben considerar para el diseño óptimo de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre?	<p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Determinar los parámetros técnicos que se deben considerar para el diseño óptimo de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre.</p>	<p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>La descripción de los parámetros técnicos permitirá el diseño adecuado de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre.</p>	<p><u>DIMENSIÓN 2:</u> Diseño de la red de frecuencia única SFN</p> <p>Indicadores:</p> <ol style="list-style-type: none"> Niveles de potencia. Niveles de intensidad de campo. Intervalo de guarda. 	<p><u>ÁMBITO DE ESTUDIO</u></p> <p>Ciudad de Tacna.</p> <p><u>POBLACIÓN</u></p> <p>Toda la Ciudad de Tacna y distritos aledaños</p>
¿Cuáles son los elementos o componentes de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre?	<p>Determinar los elementos o componentes de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre.</p>	<p>La descripción de los elementos o componentes permitirá el diseño adecuado de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre.</p>	<p><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u></p> <p>Cobertura de la Televisión Abierta en la ciudad de Tacna.</p> <p><u>DIMENSIÓN 1:</u> Transmisión de la señal</p> <p>Indicadores:</p> <ol style="list-style-type: none"> Niveles de potencia. Niveles de intensidad de campo. 	<p><u>MUESTRA</u></p> <p>21 puntos de medición de intensidad de campo.</p>
¿En qué medida un software de simulación ayuda a obtener información de las zonas de sombra de la cobertura de una estación de televisión abierta ubicada en el Cerro Para de la ciudad de Tacna?	<p>Simular la cobertura de una estación de televisión abierta ubicado en la zona del cerro Para de la ciudad de Tacna para obtener información de las zonas de sombra que se producen en la ciudad de Tacna.</p>	<p>La simulación en el software Xirio Online proporciona información de la cobertura de una estación de televisión abierta ubicada en el Cerro Para de la ciudad de Tacna, lo que permitirá el diseño adecuado de una Red de Frecuencia Única (SFN) de Televisión Digital Terrestre</p>	<p>Indicadores:</p> <ol style="list-style-type: none"> Niveles de potencia. Niveles de intensidad de campo. 	<p><u>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</u></p> <p>Técnica de análisis documental.</p> <p>Técnica de observación no experimental: estudio de campo</p> <p><u>INSTRUMENTOS</u></p> <p>Fuentes secundarias:</p>

DIMENSIÓN 2: Diseño de SFN**Indicadores:**

1. Niveles de potencia.
2. Niveles de intensidad de campo.
3. Intervalo de guarda.

Libros especializados, catálogos, recomendaciones técnicas, bibliotecas virtuales, direcciones webs y software.

Fuentes primarias:

Fichas de observación.
Equipo de medición.
