



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA (R.F.U.) PARA
OPERACIÓN DE UN CANAL DE TELEVISIÓN UHF EN LA
CIUDAD DE GUAYAQUIL”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

ING. DIEGO FRANCISCO AGUIRRE GONZÁLEZ

ING. JAIME ALFREDO BENÍTEZ ENRÍQUEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mi amor Liz y mi Noelita, por comprender y entender con gran amor que el tiempo que dedique a este trabajo, fue tiempo que les arrebate, con el fin de crecer profesionalmente para brindar un mayor bienestar a toda mi familia. A mis padres, porque me han heredado lo mejor que uno puede pedir, el amor hacia las demás personas y el amor hacia la educación.

A mi familia Martha, Jaime y Alfredo, que me acompañaron durante el desarrollo de este trabajo, siendo el motor y la razón de seguir adelante.

A nuestro director de tesis, Dr. Carlos Motta Marins por todo el apoyo brindado y todo su tiempo que paso guiándonos en la construcción del presente trabajo, a pesar de las barreras presentadas por la distancia entre nosotros.

A la ARCOTEL y amigos Ricardo, Carlos, José, Lorenzo, que brindaron todo su apoyo y predisposición para realizar las mediciones del trabajo.

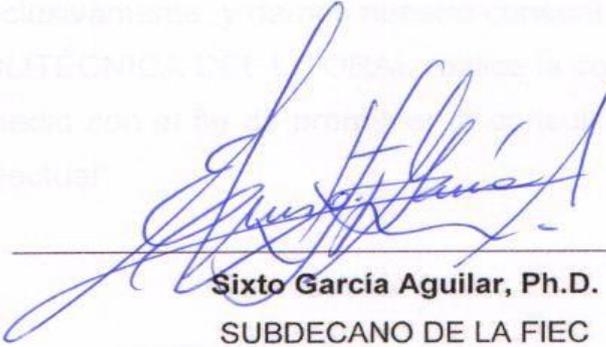
Ing. Diego Aguirre G.

Ing. Jaime Benítez E.

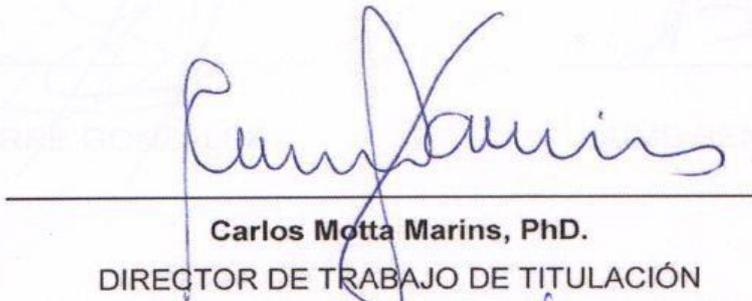
DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas aquellas personas que les apasiona e interesa el comportamiento de los servicios de televisión, para aquellos que les interesa conocer que bondades ofrece la televisión digital frente a la televisión analógica y sobre todo a aquellas personas que necesitan conocer cómo se propaga las señales de televisión digital en la ciudad de Guayaquil.

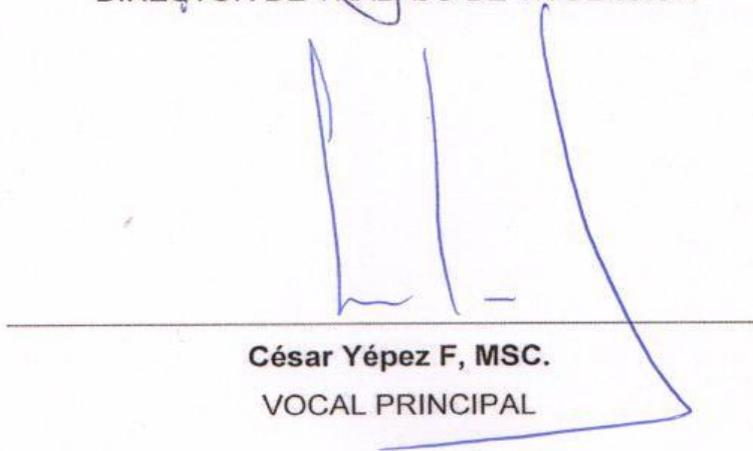
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Sixto García Aguilar, Ph.D.
SUBDECANO DE LA FIEC



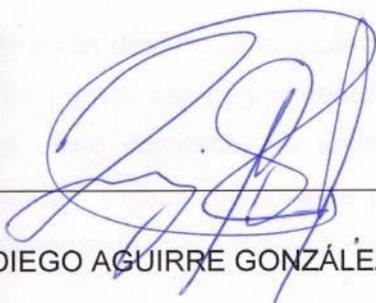
Carlos Motta Marins, PhD.
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN



César Yépez F, MSC.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual".



DIEGO AGUIRRE GONZÁLEZ



JAIME BENÍTEZ ENRÍQUEZ

RESUMEN

La recepción de una señal de televisión abierta en varios sectores de la ciudad de Guayaquil, tiende a ser de muy mala calidad o simplemente no puede ser percibida por el usuario, dichos sectores técnicamente son denominados como "zonas de sombra".

Gracias a la incursión de la Televisión Digital Terrestre, y la adopción en el 2010, por parte del gobierno ecuatoriano, del estándar Brasileño-Japonés ISDB-Tb, se presenta en este proyecto una solución basada en mediciones de campo que permitirán desarrollar un esquema de Red de Frecuencia Única, que garantice una transmisión de alta calidad en toda la zona urbana de la ciudad de Guayaquil.

Para poder desarrollar el respectivo diseño de red, se realizaron mediciones de campo en 24 puntos estratégicamente determinados en la ciudad de Guayaquil, utilizando para dicho cometido, un analizador de espectro y un Receptor cargado con el estándar. Dichas mediciones permitirán determinar, las zonas de sombras y los parámetros técnicos más adecuados para el funcionamiento de la red.

En base a los resultados obtenidos de los diferentes escenarios de propagación de señal, se podrá generar un diseño único y un mapa virtual detallando el comportamiento de la señal de televisión, lo que a su vez permitirá determinar los parámetros óptimos necesarios para la operación de los transmisores de Televisión Digital Terrestre en la ciudad de Guayaquil.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN.....	VI
ABREVIATURAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO 1	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación	2
1.3 Solución Propuesta.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5 Metodología de Investigación	5
1.5.1 Metodología Descriptiva	5
1.5.2 Metodología Inductiva.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR. 7	7
2.1 Penetración de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador	7
2.2 Regulación del servicio de Televisión Abierta en el Ecuador	12
2.3 Actualidad del estado de la Televisión Analógica y Digital abierta en la ciudad de Guayaquil	14
CAPÍTULO 3.....	17
3. TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE.....	17
3.1 Descripción del Sistema Brasileño-Japonés (ISDB-Tb)	17
3.1.1 Recomendaciones Internacionales	17
3.1.2 Descripción del estándar ISDB-Tb.....	19
3.1.3 Multitrayecto y Efecto Doopler	25
3.1.4 Modulaciones Soportadas por ISDB-Tb.....	28
3.1.5 Multiplexación por División de Frecuencia Codificada (COFDM)	36
3.1.6 Descripción de los parámetros técnicos.....	40

3.2	Red de Frecuencia Única ISDB-Tb	50
3.2.1	Definición.....	51
3.2.2	Principio Funcionamiento.....	51
3.2.3	Componentes Básicos de una SFN	59
3.2.4	Tipos de Redes de Frecuencia Única	68
3.3	Experiencias de países donde se utilice el estándar ISDB-Tb	71
3.3.1	Brasil	71
CAPÍTULO 4.....		74
4.	PRUEBAS DE MEDICIONES DE COBERTURA	74
4.1	Mediciones en localidades Fijas.....	74
4.2	Configuración de parámetros del Transmisor de Televisión Digital	93
4.2.1	Descripción del transmisor.....	93
4.2.2	Descripción de Parámetros técnicos.....	95
4.2.3	Recomendaciones Internacionales	97
4.3	Descripción de equipos para realizar la cobertura.....	100
4.3.1	Analizador ETH.....	100
4.3.2	Antenas para recepción	103
4.3.3	Receptor de canales con estándar ISDB-Tb	105
4.4	Mediciones	106
4.4.1	Tiempo y Periodicidad de la Medición.....	107
4.4.2	Mediciones Estacionarias	109
4.5	Simulación de señal TDT	149
4.5.2	Software de Simulación RADIO MOBILE	153
CAPÍTULO 5.....		171
5.	DISEÑO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA RFU.....	171
5.1	Compilación de Resultados Obtenidos	171
5.1.2	Mapa Digitalizado de la propagación de la señal	174
5.1.3	Cuadro Descriptivo de los resultados obtenidos	176
5.2	Descripción de las Zonas de Sombras.....	178
5.3	Diseño de la Red de Frecuencia Única (RFU)	179
5.3.1	Factibilidad Operativa	179
5.3.2	Factibilidad Política	185
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		189
BIBLIOGRAFÍA.....		191
ANEXOS.....		194
ANEXO 1.....		196
ANEXO 2.....		199

ABREVIATURAS

MFN	MultiFrecuency Network
SFN	Single Frecuency Network
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ISDBT	Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial
OFDM	Orthogonal Frecuency División Multiplexing
TS	Transport Stream
TMCC	Transmission Multiplexing Configuration Control
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
FFT	Fast Fourier Transform
PSK	Phase-Shift Keying
BPSK	Binary Phase-Shift Keying
DQPSK	Differential Quadrature Phase-Shift Keying
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
SP	Pilot Dispersion
MF	Multiframe
MER	Modulation Error Ratio
BER	Bit Error Rate
UIT	International Telecommunication Union
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Mapa de Guayaquil y sus Parroquias [2]	10
Figura 3. 1 Multiplexación de varias programaciones para la creación de BTS	20
Figura 3. 2 Estructura Transmisor ISDB-Tb [7].....	22
Figura 3. 3 Estructura Receptor ISDB-Tb [7].....	25
Figura 3. 4 : Multitrayecto outdoor	26
Figura 3. 5 Portadoras en Modulación OFDM	29
Figura 3. 6 Diagrama de constelación de una señal modulada mediante PSK.....	31
Figura 3. 7 Señal modulada mediante PSK.....	32
Figura 3. 8 Diagrama de constelación de una señal modulada mediante QPSK	33
Figura 3. 9 Diagrama de bloque de un transmisor QPSK.....	34
Figura 3. 10 Constelación 16-QAM	36
Figura 3. 11 Constelación 4-QAM	36
Figura 3. 12 Transmisor COFDM [15]	38
Figura 3. 13 Organización jerárquica de Señal de entrada [7].....	43
Figura 3. 14 Distribución de símbolos y portadoras Modulación diferencial [7].....	44
Figura 3. 15 Distribución de símbolos y portadoras Modulación Sincrónica [7]	45
Figura 3. 16 Distribución de portadoras en el Canal de 6 MHZ	50
Figura 3. 17 Distribución de frecuencia en una red MFN.....	52
Figura 3. 18 Países que han adoptado el estándar ISDB-T [21].....	53
Figura 3. 19 Interferencias causadas por espurias en TDT [17]	57
Figura 3. 20 Distribución del intervalo de guarda dentro del símbolo de transmisión [24]....	58
Figura 3. 21: Proceso de sincronización de una red SFN [27].....	68
Figura 3. 22 Transmisión entre repetidores y generador de señal.....	69
Figura 3. 23 Adopción del estándar ISDB-Tb en Latinoamérica	71
Figura 4. 1 Ubicación geográfica Punto 1 y perfil de elevación.	76
Figura 4. 2 Ubicación geográfica Punto 2 y perfil de elevación	76
Figura 4. 3 Ubicación geográfica Punto 3 y perfil de elevación.	77
Figura 4. 4 Ubicación geográfica Punto 4 y perfil de elevación.	77
Figura 4. 5 Ubicación geográfica Punto 5 y perfil de elevación.	78
Figura 4. 6 Ubicación geográfica Punto 6 y perfil de elevación.	78
Figura 4. 7 Ubicación geográfica Punto 7 y perfil de elevación.	79
Figura 4. 8 Ubicación geográfica Punto 8 y perfil de elevación.	79
Figura 4. 9 Ubicación geográfica Punto 9 y perfil de elevación.	80
Figura 4. 10 Ubicación geográfica Punto 10 y perfil de elevación.	80
Figura 4. 11 Ubicación geográfica Punto 11 y perfil de elevación.	81
Figura 4. 12 Ubicación geográfica Punto 12 y perfil de elevación.	81
Figura 4. 13 1 Ubicación geográfica Punto 13 y perfil de elevación.....	82
Figura 4. 14 Ubicación geográfica Punto 14 y perfil de elevación.	82
Figura 4. 15 Ubicación geográfica Punto 15 y perfil de elevación.	83
Figura 4. 16 Ubicación geográfica Punto 16 y perfil de elevación.	83
Figura 4. 17 Ubicación geográfica Punto 17 y perfil de elevación.	84
Figura 4. 18 Ubicación geográfica Punto 18 y perfil de elevación.	84

Figura 4. 19 Ubicación geográfica Punto 19 y perfil de elevación.	85
Figura 4. 20 Ubicación geográfica Punto 20 y perfil de elevación.	85
Figura 4. 21 Ubicación geográfica Punto 21 y perfil de elevación.	86
Figura 4. 22 Ubicación geográfica Punto 22 y perfil de elevación.	86
Figura 4. 23 Ubicación geográfica Punto 23 y perfil de elevación.	87
Figura 4. 24 Ubicación geográfica Punto 24 y perfil de elevación.	87
Figura 4. 25: Parámetros RF.....	88
Figura 4. 26 Información TMCC	89
Figura 4. 27 Diagramas de constelación de cada capa.....	89
Figura 4. 28 Detección de señales dentro del intervalo de guarda	90
Figura 4. 29 Detección del parámetro MER	90
Figura 4. 30 Detección de la imagen.....	91
Figura 4. 31 Móvil utilizado para las mediciones	92
Figura 4. 32 Equipos utilizados para las mediciones.....	93
Figura 4. 33 Transmisor Canal 25.....	94
Figura 4. 34 Interfaz del Transmisor Canal 25	94
Figura 4. 35 Potencia configurada en el transmisor	96
Figura 4. 36 Configuración de Modulación, Intervalo de Guarda y Modo de operación.....	96
Figura 4. 37 Sistema Radiante.....	97
Figura 4. 38 Analizador R&S ETH para mediciones de campo [33].....	100
Figura 4. 39 Detección automática de parámetros de modulación	101
Figura 4. 40 Detección de la respuesta en frecuencia.....	102
Figura 4. 41 Detección de los parámetros VER y MER por capas.....	102
Figura 4. 42 Verificación de IG, Demodulación, Potencia Recibida y desfase de la señal.	103
Figura 4. 43 Antena ADC2300 [30]	104
Figura 4. 44 Comportamiento de la Ganancia vs Frecuencia medida [30].....	105
Figura 4. 45 Televisor para recepción de Señal.	106
Figura 4. 46 Sistema SACER para recepción de Señal.....	106
Figura 4. 47 Posicionamiento de los 24 puntos de medición.	108
Figura 4. 48 Diagrama de medición por punto	109
Figura 4. 49 Degradación de la señal en Diagrama de Constelación	113
Figura 4. 50 Diagrama de constelación del punto 1.	113
Figura 4. 51 Diagrama de constelación del punto 2.	114
Figura 4. 52 Diagrama de constelación del punto 3.	114
Figura 4. 53 Diagrama de constelación del punto 4.	115
Figura 4. 54 Diagrama de constelación del punto 5.	115
Figura 4. 55 Diagrama de constelación del punto 6.	116
Figura 4. 56 Diagrama de constelación del punto 7.	116
Figura 4. 57 Diagrama de constelación del punto 8.	117
Figura 4. 58 Diagrama de constelación del punto 9.	117
Figura 4. 59 Diagrama de constelación del punto 10.....	118
Figura 4. 60 Diagrama de constelación del punto 11.....	118
Figura 4. 61 Diagrama de constelación del punto 12.....	119
Figura 4. 62 Diagrama de constelación del punto 13.....	119
Figura 4. 63 Diagrama de constelación del punto 14.....	120
Figura 4. 64 Diagrama de constelación del punto 15.....	120
Figura 4. 65 Diagrama de constelación del punto 16.....	121
Figura 4. 66 Diagrama de constelación del punto 17.....	121
Figura 4. 67 Diagrama de constelación del punto 18.....	122
Figura 4. 68 Diagrama de constelación del punto 19.....	122
Figura 4. 69 Diagrama de constelación del punto 20.....	123

Figura 4. 70 Diagrama de constelación del punto 21.....	123
Figura 4. 71 Diagrama de constelación del punto 22	124
Figura 4. 72 Diagrama de constelación del punto 23.....	124
Figura 4. 73 Diagrama de constelación del punto 24.....	125
Figura 4. 74 Intervalo de Guarda del punto 1.	126
Figura 4. 75 Intervalo de Guarda del punto 2.	126
Figura 4. 76 Intervalo de Guarda del punto 3.	127
Figura 4. 77 Intervalo de Guarda del punto 4.	127
Figura 4. 78 Intervalo de Guarda del punto 5.	128
Figura 4. 79 Intervalo de Guarda del punto 6.	128
Figura 4. 80 Intervalo de Guarda del punto 7.	129
Figura 4. 81 Intervalo de Guarda del punto 8.	129
Figura 4. 82 Intervalo de Guarda del punto 9.	130
Figura 4. 83 Intervalo de Guarda del punto 10.	130
Figura 4. 84 Intervalo de Guarda del punto 11.	131
Figura 4. 85 Intervalo de Guarda del punto 12.	131
Figura 4. 86 Intervalo de Guarda del punto 13.	132
Figura 4. 87 Intervalo de Guarda del punto 14.	132
Figura 4. 88 Intervalo de Guarda del punto 15.	133
Figura 4. 89 Intervalo de Guarda del punto 16.	133
Figura 4. 90 Intervalo de Guarda del punto 17.	134
Figura 4. 91 Intervalo de Guarda del punto 18	134
Figura 4. 92 Intervalo de Guarda del punto 19.	135
Figura 4. 93 Intervalo de Guarda del punto 20.	135
Figura 4. 94 Intervalo de Guarda del punto 21.	136
Figura 4. 95 Intervalo de Guarda del punto 22.	136
Figura 4. 96 Intervalo de Guarda del punto 23.	137
Figura 4. 97 Intervalo de Guarda del punto 24.	137
Figura 4. 98 MER, BER y Potencia de Recepción.....	138
Figura 4. 99 MER, BER y Potencia de Recepción.....	138
Figura 4. 100 MER, BER y Potencia de Recepción.....	139
Figura 4. 101 MER, BER y Potencia de Recepción.....	139
Figura 4. 102 MER, BER y Potencia de Recepción.....	140
Figura 4. 103 MER, BER y Potencia de Recepción.....	140
Figura 4. 104 MER, BER y Potencia de Recepción.....	141
Figura 4. 105 MER, BER y Potencia de Recepción.....	141
Figura 4. 106 MER, BER y Potencia de Recepción.....	142
Figura 4. 107 MER, BER y Potencia de Recepción.....	142
Figura 4. 108 MER, BER y Potencia de Recepción.....	143
Figura 4. 109 MER, BER y Potencia de Recepción.....	143
Figura 4. 110 MER, BER y Potencia de Recepción.....	144
Figura 4. 111 MER, BER y Potencia de Recepción.....	144
Figura 4. 112 MER, BER y Potencia de Recepción.....	145
Figura 4. 113 MER, BER y Potencia de Recepción.....	145
Figura 4. 114 MER, BER y Potencia de Recepción.....	146
Figura 4. 115 MER, BER y Potencia de Recepción.....	146
Figura 4. 116 MER, BER y Potencia de Recepción.....	147
Figura 4. 117 MER, BER y Potencia de Recepción.....	147
Figura 4. 118 MER, BER y Potencia de Recepción.....	148
Figura 4. 119 MER, BER y Potencia de Recepción.....	148
Figura 4. 120 MER, BER y Potencia de Recepción.....	149

Figura 4. 121 MER, BER y Potencia de Recepción.....	149
Figura 4. 122 Configuración de datos según modelo de propagación.....	155
Figura 4. 123 Configuración de parámetros técnicos según transmisor real	155
Figura 4. 124 Transmisor ubicado en Cerro del Carmen, para cubrir Guayaquil y alrededores	156
Figura 4. 125 Coordenadas y altura del transmisor Tx.....	156
Figura 4. 126 Simulación emitiendo señal un transmisor en el Cerro del Carmen.....	157
Figura 4. 127 Ciudad de Guayaquil sectorizada, con 8 radiales.....	158
Figura 4. 128 Principales zonas de sombra en la ciudad de Guayaquil.....	158
Figura 4. 129 Vista de los obstáculos que generan las zonas de sombras.....	158
Figura 4. 130 Vista hacia el sur de la ciudad de Guayaquil, con obstáculos artificiales- edificios.....	159
Figura 4. 131 Configuración GAP FILLER.....	159
Figura 4. 132 Coordenadas GAP1, sector noreste de la ciudad de Guayaquil	160
Figura 4. 133 GAP1 con antena sectorizada a 225°.....	160
Figura 4. 134 GAP1 con antena sectorizada a 120°.....	161
Figura 4. 135 Simulación con GAP1, azimut 120° y 225°.....	161
Figura 4. 136 Coordenadas GAP 2, sector Los Ceibos	162
Figura 4. 137 Ubicación de GAP2, para cubrir zona encerrada por elevaciones naturales	162
Figura 4. 138 GAP2 con antena sectorizada a 270°.....	163
Figura 4. 139 Simulación con GAP2, azimut 270°.....	163
Figura 4. 140 Coordenadas GAP3, sector Vía a la Costa	164
Figura 4. 141 GAP3 con antena sectorizada a 30°.....	164
Figura 4. 142 GAP3 con antena sectorizada a 270°.....	165
Figura 4. 143 GAP3 con antena sectorizada a 330.....	165
Figura 4. 144 Simulación con GAP3, azimut 30°, 270° y 330°	166
Figura 4. 145 GAP4, sector Perimetral – Casuarina.....	166
Figura 4. 146 GAP4 con antena sectorizada a 170°.....	167
Figura 4. 147 GAP4 con antena sectorizada a 270°.....	167
Figura 4. 148 Simulación con GAP4, azimut 170° y 270°.....	168
Figura 4. 149 Cobertura total en la ciudad de Guayaquil con 4 Gap Filler y Tx en Cerro del Carmen.....	168
Figura 5. 1 Mapa Digitalizado considerando solo el transmisor del canal 25.....	175
Figura 5. 2 Mapa Digitalizado considerando el transmisor del canal 25 y 4 Gap Fillers.....	176
Figura 5. 3 Descripción grafica de la topología de red.....	180
Figura 5. 4 Tiempo de arribo de bit entre Transmisor y Gap Fillers	183

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Número de Estaciones Concesionadas de TDT por provincia en el Ecuador [1]	8
Tabla 2: Localidades con Servicio de TDT en el Ecuador [1]	9
Tabla 3: Censo de Población y Vivienda [3].....	11
Tabla 4 Listado de las Estaciones de Televisión Abierta Digitales y Analógicas [1]	14
Tabla 5 Normativa Internacional para la transmisión de señal Digital Terrestre bajo el estándar ISDB-Tb [7]	18
Tabla 6: Relación dibit/fase	33
Tabla 7: Composición de constelación de la modulación 4-QAM	36
Tabla 8: Composición de constelación de la modulación 16-QAM	36
Tabla 9: Parámetros según los Modos de separación [7].....	41
Tabla 10: Asignación de Byte Interleaving	43
Tabla 11: Ajuste del valor de atraso requerido por el bit interleaving [7].....	44
Tabla 12: Descripción de Señales de Control	46
Tabla 13: Descripción de Bits [7].....	50
Tabla 14: Relación de Protección Señal [23].....	56
Tabla 15: Relación de Protección Señal deseada/señal no deseada, canal adyacente [23]	56
Tabla 16: Bandas de Frecuencias Principales establecidas para TDT en el Ecuador [23] ..	60
Tabla 17: Canalización de Bandas para servicio de TDT [23]	62
Tabla 18: Concesión temporal de canales TDT para operación en la ciudad de Guayaquil [23].....	62
Tabla 19: Puntos de mediciones fijas.....	75
Tabla 20: Descripción de los parámetros técnicos configurados en el transmisor canal 25.	95
Tabla 21: Descripción de los parámetros técnicos configurados en el transmisor canal 25 [31] [13].....	99
Tabla 22: Descripción de los parámetros técnicos de la antena receptora [30]	104
Tabla 23: Descripción Visual de la calidad de Imagen del canal 25	111
Tabla 24: Recopilación de resultados de simulación	170
Tabla 25: Puntos donde se observa la imagen, pero no cumple con valor mínimo de MER	174
Tabla 26: Resultados de las observaciones en campo.....	177
Tabla 27: Parámetros técnicos configurados para cada Gap Filler.....	185

INTRODUCCIÓN

En el mundo de las telecomunicaciones, uno de los servicios que causó un cambio en el diario vivir de la sociedad fue el servicio de televisión abierta, en el Ecuador una de las estaciones pioneras en el año 1960 fue la que actualmente se denomina Red Telesistema RTS canal 4 en la ciudad de Guayaquil, transmitiendo analógicamente desde cerro Del Carmen, con las dificultades propias de la propagación por las elevaciones naturales en la ciudad. Durante los últimos 55 años la ciudad de Guayaquil ha tenido estaciones matrices analógicas que generan su propia programación y se ha considerado como un sector principal de zona de sombra la ciudadela Los Ceibos, la cual ha sido atendida en cobertura con una repetidora en diferente frecuencia y canal, sin definir adicionales zonas de sombra en la ciudad de Guayaquil por las características de propagación de las señales analógicas; sin embargo, existen algunos sitios específicos que tienen niveles de señal degradados.

En la actualidad con el crecimiento de la ciudad de Guayaquil, el presente trabajo, busca definir diferentes zonas de sombra y aprovechando las bondades de la televisión digital terrestre, establecer los mejores sitios donde sea factible colocar un repetidor para atender a los usuarios con niveles de calidad conforme lo establece la normativa vigente y garantizar una “cobertura completa” a la ciudad de Guayaquil considerando a los sectores urbano-marginales, a los cuales por sus condiciones económicas son atendidos con baja prioridad.

La televisión digital con estándar ISDB-Tb, en la ciudad de Guayaquil se emite de manera temporal por las estaciones que mantienen transmisión analógica con la misma propagación, hasta que se ejecute de manera definitiva en el año 2018 el apagón analógico; es así, que el espectro radioeléctrico se concesionará mediante concurso público, garantizando su eficiencia y equidad para los sectores públicos, privados y comunitarios.

En el Ecuador los Organismos involucrados en el desarrollo de las telecomunicaciones Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información – MINTEL y la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones – ARCOTEL, realizan las gestiones pertinentes para la migración de las estaciones de televisión de analógico a digital, de acuerdo a la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, Reglamento General a la Ley, Norma Técnica para el servicio de radiodifusión de televisión digital terrestre, Resolución para las especificaciones mínimas para los receptores TDT - Set Top Box, teniendo la normativa legal completa.

El desarrollo de este trabajo, se realizará mediante cinco capítulos, en el primer capítulo, abarcaremos el problema a definir, con su justificación y propuesta de solución mediante una Red de Frecuencia Única para la ciudad de Guayaquil; en el segundo capítulo, realizamos un análisis de la situación actual de la televisión digital, su penetración y normativa involucrada,

así como las estaciones que mantienen concesiones temporales para transmitir la TDT; en el tercer capítulo, se explica de manera muy detallada las características técnicas de la transmisión digital con estándar ISDB-Tb, tipos de modulación y el pilar fundamental para esta tecnología OFDM, de igual manera se detalla la Red de Frecuencia Única R.F.U. y la importancia del sincronismo para garantizar la normal operación y la experiencia brasileña; ya en el capítulo cuatro, nos concentramos en las mediciones de campo de acuerdo a las recomendaciones de la ITU, realizadas con equipos de última generación que posee la ARCOTEL como analizadores de televisión digital, antenas, mástiles a 10 metros de altura sobre el nivel del suelo, obteniendo parámetros técnicos como intensidad de señal, MER, diagramas de constelación y se incluye una simulación mediante una herramienta informática, de la propagación de la señal sólo con un transmisor desde Cerro del Carmen y luego con los repetidores minuciosamente ubicados en la ciudad de Guayaquil para garantizar la “cobertura total”; finalizamos, con el capítulo cinco, definiendo el diseño de la Red de Frecuencia Única R.F.U. y mapas digitalizados, garantizando que las zonas de sombra en la ciudad de Guayaquil, quedarán cubiertas por la señal emitida por los Gap Filler en la misma frecuencia principal concesionada, concluyendo que se ha logrado una configuración de diseño económica, técnica y de gestión eficiente, para maximizar la penetración en la ciudad de Guayaquil del servicio de televisión digital terrestre – TDT.

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La recepción de una señal de televisión abierta en varios sectores de la ciudad de Guayaquil, tiende a ser de muy mala calidad o simplemente no puede ser percibida por el usuario, dichos sectores técnicamente son denominados como "zonas de sombra".

Debido a la alta densidad de población que se encuentra distribuida en las zonas de sombras, se vuelve imperioso tomar acciones correctivas para solucionar el inconveniente antes mencionado. Cabe mencionar que dichas acciones deben de considerar que el espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado y complejo de concesionar, por lo tanto se debe optimizar la utilización del mismo en los sistemas de radiocomunicación.

Como acciones principales para apalejar la mencionada situación y en consecuencia a la evolución constante de la tecnología y la propia necesidad que se crea en las personas por esta situación, el Ecuador decide unirse a este cambio relacionado a la revolución de la televisión, es decir la transformación de la Televisión abierta analógica a la Televisión Abierta Digital. Por tal motivo y posterior a una ardua deliberación de pruebas comparativas técnicas físicas y teóricas entre los distintos estándares de TDT (Televisión Digital Terrestre) a nivel mundial, mediante Resolución No. 084-05-CONATEL-2010 del 25 de marzo del 2010 se adopta el Estándar Brasileño-Japonés ISDB-Tb.

Mediante Resolución RTV-596-16-CONATEL-2011 del 29 de julio del 2011, se delega al MINTEL (Ministerio de Telecomunicaciones y la Sociedad de la Información) para que lidere el proceso de TDT. Por medio del acuerdo ministerial 170 del 3 de agosto del 2011 se procede a la creación del CITDT (Comité de Implementación de la TDT) encargado de realizar y ejecutar el Plan Maestro para la transición de Televisión Analógica a Televisión Digital, que contempla, entre otras cosas, concesionar frecuencias temporales en las ciudades de Quito y Guayaquil con el objeto de que se puedan realizar las primeras pruebas de propagación de la señal digital.

1.2 Justificación

Debido al amplio crecimiento del número de usuarios que acceden al servicio de Televisión abierta en el país, según datos obtenidos por el INEC (Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censo) durante el censo del año 2012 se conoce que el 61,7% de la población guayaquileña ven televisión en un promedio de 3 horas diarias (Ministerio de Telecomunicaciones, 2015), considerando las bondades que nos ofrece este servicio con el constante desarrollo tecnológico y la convergencia de redes, demandan que la propagación de estas señales sea de alta calidad, movilidad, portabilidad e interactividad, por lo tanto es necesario que las empresas televisivas estén en la capacidad de realizar dicho trabajo implementando un adecuado despliegue tecnológico para tener la cobertura necesaria dentro de la ciudad, sin que la geografía de la misma cause inconvenientes en la propagación de la señal.

Por lo antes mencionado, es necesario desarrollar una solución fiable que permita tener un óptimo comportamiento de propagación de la señal de televisión abierta, que garantice la inclusión y comunicación de todos los sectores sociales de la ciudad de manera libre y gratuita, debido a se espera que este servicio pueda generar contenidos que fomenten el crecimiento cultural y educativo de la sociedad a cero costos.

Hoy en día, en la ciudad de Guayaquil, las estaciones de televisión operan únicamente con un transmisor de señal lo que conlleva a que no se cumpla con la cobertura requerida para las funciones antes mencionadas, por lo tanto es necesario que exista soluciones que optimicen la transmisión de la señal y cubrir las denominadas zonas de sombras.

Para mejorar la cobertura de la señal de televisión digital, se pueden plantear distintas soluciones, la primera de ellas consiste en aumentar la potencia efectiva del transmisor y alternar los parámetros principales de configuración, de tal manera que pueda dar mayor alcance y calidad a la señal para lograr con la cobertura deseada de toda la ciudad. Por otro lado, se puede considerar como segunda solución, un Diseño de Red Multifrecuencial, que consiste en la utilización de un conjunto de transmisores independientes configurado con frecuencias diferentes e individuales (Almarza, 2006), es decir para poder lograr

la cobertura necesaria en toda la ciudad se deberán concesionar el número de frecuencias requeridas por cada transmisor ubicado en los sectores de zona de sombras.

Finalmente, y como tercera solución, se podrá implementar una red de frecuencia única que consiste en poner en funcionamiento un conjunto de transmisores con igual frecuencia ubicados dentro de la ciudad, (Arthur, 2007) es decir se puede ampliar la cobertura de red sin la necesidad de concesionar mayores canales de frecuencia.

Se ha podido determinar en experiencias internacionales a base de pruebas de campo, que las redes basadas en un Diseño de Red de Frecuencia Única pueden ser utilizadas para expandir el área de cobertura de las emisión de televisión en un formato digital (Kusunoki, 2013) optimizando el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico (considerando que dicho recurso es limitado y restringido por normativas y reglamentos estatales), razón por la cual creemos en la importancia de establecer directrices técnicamente fundamentadas que permitan establecer un documento, que garantice mejorar la cobertura de transmisión y recepción de la señal de televisión digital abierta en la ciudad de Guayaquil, colocando diferentes dispositivos transmisores que reproduzcan la señal proveniente del transmisor principal operando en una frecuencia denominada UHF (Ultra High Frequency) ubicado específicamente en el Cerro del Carmen.

Considerando que actualmente en la ciudad de Guayaquil se encuentran estaciones de televisión transmitiendo señales de televisión digital en modo de prueba, con un único trasmisor a una potencia específica para atender a toda la población, se presentan las facilidades para realizar un estudio de implementación de un Diseño de Red de Frecuencia Única, para mejorar la cobertura del área geográfica.

1.3 Solución Propuesta

Analizando detalladamente los resultados del comportamiento de las señales de Televisión Digital de varios transmisores ubicados en la ciudad de Guayaquil, realizando variaciones en la configuración de los parámetros

técnicos tales como Potencia de transmisión, intervalo de guarda y tasa de código convolucional de dichos transmisores, se propone con el desarrollo del presente proyecto de Titulación, obtener un diseño de red para operación de sistemas de televisión digital terrestre en la ciudad de Guayaquil, considerando los requerimientos necesarios para el despliegue de una SFN (Single Frequency Network) de transmisión ISDB-Tb, de tal manera que optimice la concesión del espectro radioeléctrico mejorando la cobertura geográfica donde opere el sistema de transmisión.

Dicho diseño de red, a diferencia de análisis realizados en trabajos anteriores, se basará exclusivamente en datos obtenidos mediante mediciones en campo de sistemas que se encuentran operando dentro del perímetro urbano de la ciudad de Guayaquil, lo cual permitirá presentar un resultado totalmente práctico y fundamentado teóricamente para que pueda ser aplicable a cualquier estación de televisión con concesión en la ciudad.

De igual manera se propone determinar, en función de los resultados, las “zonas de sombra” existentes dentro del perímetro urbano de la ciudad de Guayaquil y por ende determinar la cantidad de retransmisores necesarios para optimizar la cobertura de dicho sistema.

Esta solución se complementará con un análisis comparativo entre, los resultados obtenidos posterior a las mediciones realizadas con los equipos desplegados por la ciudad de Guayaquil considerando la operación de canal 25, y un mapa digitalizado de mediciones de propagación de señales Digitales en la ciudad utilizando un software de propagación llamado Radio Mobile.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento de una señal de Televisión Digital Terrestre en base a mediciones de campo, para determinar un esquema de Red de Frecuencia Única que garantice una transmisión de alta calidad en la ciudad de Guayaquil.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Encontrar las "zonas de sombras" determinadas mediante mediciones de cobertura de propagación de una señal de Televisión Digital en la ciudad de Guayaquil, considerando que los transmisores actuales se encuentran operando en el Cerro del Carmen.
- Determinar los parámetros técnicos más adecuados para un transmisor de señal de Televisión Digital en la ciudad de Guayaquil.
- Determinar un diseño de Red de Frecuencia Única, factible económica y técnicamente para operar en la ciudad de Guayaquil, sin que la reutilización de frecuencia ocasione interferencia entre los transmisores.

1.5 Metodología de Investigación

En el desarrollo de este proyecto de investigación se aplicará dos tipos de metodologías, descritas a continuación:

1.5.1 Metodología Descriptiva

El alcance del presente trabajo es de tipo descriptivo, debido a que la investigación consistirá en realizar la recolección de datos de una señal de televisión digital que se propague en la actualidad en la ciudad de Guayaquil, con el objetivo de determinar, en base a resultados reales, las zonas afectadas y la densidad de población aproximada que se encuentra dentro de las llamadas "zonas de sombras"; los datos a tomar en cuenta (*Nivel de intensidad de la señal*, *CBER (Channel bit error rate)*, *VBER (Viterbi bit error rate)*, *VER (viterbi error rate)*, *MER (modulation error ratio)*, recepción de imagen, potencia de recibida) en

esta sección permitirán analizar el comportamiento actual de la señal lo que conlleva a conocer parámetros necesarios para establecer un correcto Diseño.

Las mediciones se realizarán mediante una estación móvil, de propiedad de la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones), considerando la Recomendación ITU-R P.1406.

1.5.2 Metodología Inductiva

Con los datos obtenidos en las mediciones indicadas anteriormente, se procederá a realizar el análisis pertinente para el desarrollo de este proyecto utilizando una metodología inductiva.

Para desarrollar un diseño de SFN, se deberá tomar en cuenta las siguientes especificaciones:

Considerando que los sistemas de transmisión de señal Digital Terrestre soportan COFDM (Multiplexación por división de frecuencia ortogonal codificada), se podrá diseñar una red compuesta por un transmisor principal y varios transmisores secundarios operando todos en la misma frecuencia.

La gran limitación que presenta un diseño de red de frecuencia única, es la perfecta sincronización que debe de existir entre los transmisores, para lo cual es necesario contar con dispositivos de alta precisión.

Los ajustes de los parámetros técnicos con los que se deberá configurar el Modulo de Control o Gestión, obedecerán a los datos más factibles obtenidos de las mediciones realizadas en tiempo real.

Se obtendrán resultados reales del comportamiento de las señales de Televisión Digital de varios transmisores ubicados en la ciudad de Guayaquil, de esta manera se podrán determinar los parámetros más idóneos para operar brindando la mejor calidad del servicio. Es importante mencionar que dichas variaciones se realizarán de manera conjunta con autorización de la Agencia Nacional de Regulación y Control y departamento técnico de la estación de televisión.

CAPÍTULO 2

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR

2.1 Penetración de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador

En el Ecuador se brinda los servicios de televisión digital terrestre, a manera de emisiones de prueba por concesionarios del servicio de televisión abierta modalidad analógica, es decir, las estaciones de TDT transmiten la misma programación del canal analógico en canales virtuales con asignación numérica relacionada al canal análogo, para lo cual, el órgano de regulación y control ecuatoriano, emite permisos de operación temporal.

Conforme a las estadísticas presentadas por la ARCOTEL, las estaciones que emiten su señal digital en el Ecuador corresponden a 27 estaciones de servicio comercial privada y 5 estaciones de servicio público, lo que da un total de 32 estaciones transmitiendo señales de prueba, a continuación el detalle de la cantidad de estaciones por provincia.

PROVINCIA	Comercial Privada	Servicio Público
	TDT	TDT
Azuay	1	1
Bolívar	-	-
Cañar	-	-
Carchi	-	-
Chimborazo	-	-
Cotopaxi	1	1
El Oro	-	-
Esmeraldas	1	-
Galápagos	-	-
Guayas	10	1
Imbabura	-	1
Loja	-	-
Los Ríos	-	-
Manabí	2	-
Morona Santiago	-	-
Napo	-	-
Orellana	-	-
Pastaza	-	-
Pichincha	9	1
Santa Elena	-	-
Santo Domingo de los Tsáchilas	2	-
Sucumbios	-	-
Tungurahua	1	-
Zamora Chinchipe	-	-

Tabla 1 Número de Estaciones Concesionadas de TDT por provincia en el Ecuador [1]

Para medir la penetración del servicio de televisión digital terrestre en el Ecuador, debemos considerar, que el apagón analógico se realizará en etapas, de acuerdo a lo establecido por el MINTEL (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información) , este plan de traspaso a la emisión sólo de señales digitales en el Ecuador se inicia a partir de finales del año 2016, con las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, por lo que, las emisiones de prueba para obtener la Norma Técnica, se ejecutan principalmente en estas ciudades; luego en el año 2017 se emitirá la señal digital en las capitales de provincia y se prevee el cese de emisiones de televisión analógica (finalizar el apagón analógico) en el Ecuador en el año 2018.

La cantidad de usuarios beneficiados de estas transmisiones de prueba, dependerá que se tenga un televisor con sintonizador del estándar ISDB-Tb, o su set to box, respectivo, para decodificar la señal digital e ingresarla al televisor análogo actual.

Para el análisis y obtención de la medida de penetración del servicio de televisión digital, se ha considerado factores como, la población de cada localidad donde se emite señal digital de prueba, conforme a las publicaciones de la ARCOTEL, porcentaje de la cantidad de hogares que tienen un televisor, es decir, el porcentaje de televisores por provincia, de acuerdo al Censo Poblacional 2010 emitido oficialmente por el INEC, por lo que, si consideramos los usuarios que podrían acceder a esta señal digital (programación igual a la analógica) a inicio del año 2016 y beneficiarse de las bondades de la televisión digital terrestre (principalmente calidad de señal), sería un 42% de la población ecuatoriana, lo cual, es bajo en comparación a la penetración del servicio de televisión abierta señal analógica, que en poblaciones densas urbanas alcanza hasta el 94%, pero comprensible, por ser señales de prueba. A continuación el detalle de la población ecuatoriana que tiene disponible el servicio.

LOCALIDAD CON SERVICIO TDT	POBLACION	HOGARES	%TELEVISORES POR PROVINCIA	USUARIOS
CUENCA	505,585	126,396	82.30%	416,096
LATACUNGA	170,489	42,622	73.00%	124,457
ZUMBAHUA	6,286	1,572	73.00%	4,589
ESMERALDAS	189,504	47,376	83.30%	157,857
GUAYAQUIL	2,350,915	587,729	92.60%	2,176,947
IBARRA	181,175	45,294	82.80%	150,013
ATUNTAQUI	21,286	5,322	82.80%	17,625
PORTOVIEJO	280,029	70,007	78.60%	220,103
MANTA	226,477	56,619	78.60%	178,011
QUITO	2,239,191	559,798	93.50%	2,093,644
SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS	368,013	92,003	90.50%	333,052
AMBATO	329,856	82,464	80.80%	266,524
TOTAL LOCALIDADES	6,868,806	1,717,202		6,138,917
TOTAL ECUADOR	14,483,499	3,620,875		14,483,499
% DE PENETRACIÓN QUE PODRÍA ACCEDER AL SERVICIO TDT EN EL ECUADOR	42%			

Tabla 2: Localidades con Servicio de TDT en el Ecuador [1]

En la ciudad de Guayaquil, estudio de este Proyecto, la penetración del servicio TDT, de acuerdo a la población de las parroquias urbanas y con un transmisor ubicado en el Cerro del Carmen con una potencia de 4KW, se

estima que se atendería a 81 usuarios por cada 100 habitantes (81.03%), por los posibles sitios definidos como zona de sombra o degradación de la señal digital, para lo cual, desarrollamos este diseño de red de frecuencia única y beneficiar con el servicio TDT a mayor cantidad de usuarios en la ciudad hasta llegar a un porcentaje del (99%).

A continuación el detalle de usuarios por parroquia urbana de la ciudad de Guayaquil.

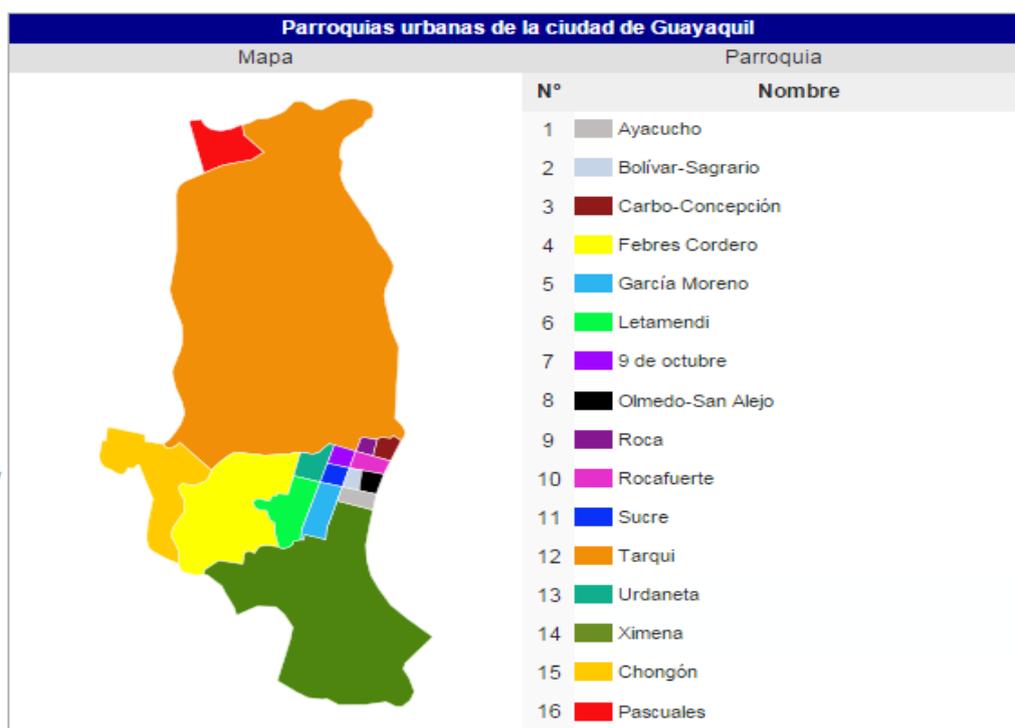


Figura 2. 1 Mapa de Guayaquil y sus Parroquias [2]

Del presente gráfico, se puede observar que la parroquia Tarqui tiene la mayor área geográfica de la ciudad de Guayaquil, considerando también que la parroquia Chongon se encuentra en un exponencial crecimiento debido al despliegue de nuevas urbanizaciones por el sector.

Densidad de Población y Zonas de Sombra en la ciudad de Guayaquil (Estimado)			
Parroquia	Población*	Densidad de Población	Posible Zona de Sombra**
9 de Octubre	5,747	0.24%	No considerado****
Ayacucho	10,706	0.46%	No considerado****
Bolívar	6,758	0.29%	No considerado****
Chongón	36,726	1.56%	SI
Febres Cordero	343,836	14.63%	SI
García Moreno	50,028	2.13%	No considerado****
Letamendi	95,943	4.08%	SI
Olmedo	6,623	0.28%	No considerado****
Pascuales	74,932	3.19%	SI
Pedro Carbo	4,035	0.17%	No considerado****
Roca	5,545	0.24%	No considerado****
Rocafuerte	6,100	0.26%	No considerado****
Sucre	11,952	0.51%	SI
Tarqui	1,050,826	44.70%	SI***
Urdaneta	22,680	0.96%	No considerado****
Ximena	546,254	23.24%	SI
Periferia urbana	12,467	0.53%	SI
Puná (rural)	6,769	0.29%	-
Posorja (rural)	24,136	1.03%	-
Morro (rural)	5,019	0.21%	-
Progreso (rural)	11,897	0.51%	-
Tenguel (rural)	11,936	0.51%	-
Total	2,350,915	100.00%	Existe población en Zona de Sombra
zona de sombra o degradación de señal en parroquias del área urbana			81.03%
****Proyección utilizando software ICS-Telecom, para visualizar posibles sitios con zona de sombra.			
*Fuente: INEC Censo de Población y Vivienda 2010			
**Posible Zona de Sombra por obstáculo natural o edificación, para la propagación de la señal emitiendo desde Cerro Del Carmen			
***Zona de sombra verificada por ARCOTEL para la transmisión de señales de televisión abierta analógica, sector Los Ceibos.			

Tabla 3: Censo de Población y Vivienda [3]

Sin perder el horizonte del presente trabajo, para cálculos posteriores de penetración del servicio de televisión digital terrestre, en un sentido únicamente técnico, se debe considerar a los usuarios que tengan una calidad de señal menor de 51dB μ V/m en su receptor y garantizar la colocación de una antena externa en el bien inmueble a 10 metros sobre el nivel del suelo, se obtienen valores similares a las mediciones del Organismo de Control conforme las recomendaciones de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones), sin embargo, a la fecha no se dispone de esta información, por parte de los Organismos competentes.

Así mismo, para futuras proyecciones de penetración del servicio TDT, se debe utilizar el estudio de proyección de la población por hogares ecuatorianos emitido por el INEC, y la cantidad de televisores importados, ensamblados y decodificadores set to box, en operación en el Ecuador.

2.2 Regulación del servicio de Televisión Abierta en el Ecuador

En el Ecuador el Organismo rector que emite las políticas de telecomunicaciones desde el Poder Ejecutivo es el MINTEL, y la ARCOTEL, adscrita al MINTEL, es la entidad encargada de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico y su gestión, así como de los aspectos técnicos de la gestión de medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes. Artículo 142 de la Ley Orgánica de telecomunicaciones.

La LOT (Ley Orgánica de Telecomunicaciones) en su artículo 2, en la parte pertinente establece,

“... Las redes e infraestructura usadas para la prestación de servicios de radiodifusión sonora y televisiva y las redes e infraestructura de los sistemas de audio y vídeo por suscripción, están sometidas a lo establecido en la presente Ley. No corresponde al objeto y ámbito de esta Ley, la regulación de contenidos.”

Por lo antes mencionado, las personas naturales o jurídica que deseen brindar el servicio de televisión abierta en el Ecuador obligatoriamente requieren el uso del espectro radioeléctrico y esto los obliga a cumplir la normativa emitida por la ARCOTEL la cual es la encargada de la gestión y control del mismo; además de la regulación de contenido que lo realiza la Superintendencia de la Información y la Comunicación.

La LOC (Ley Orgánica de Comunicación) en su artículo 5, considera como un medio de comunicación social a las personas concesionarias de frecuencias de televisión, que prestan el servicio público de comunicación masiva, cuyos contenidos pueden ser generados o replicados por el medio de comunicación a través de internet; así mismo, en la LOC artículo 34, con respecto al derecho al acceso a frecuencias, indica que todas las personas en forma individual y colectiva tienen derecho a acceder, en igualdad de condiciones, al uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico, asignadas para los servicios de televisión abierta; por lo que, el control de la información y comunicación lo realiza la SUPERCOM (Superintendencia de la Información y la Comunicación).

La norma secundaria, se consolida con los respectivos Reglamentos Generales a la Ley Orgánica de Telecomunicación y Ley Orgánica de Comunicación RLOT y RLOC; en el RLOT se define el título habilitante a obtener para brindar el servicio de televisión abierta TDT, que en nuestro caso corresponde a una Concesión de radiodifusión de televisión; y se establece que los servicios de radiodifusión de señal abierta se gestionarán a través de estaciones de radio y televisión públicas, privadas y comunitarias observando la distribución equitativa de frecuencias establecida en la LOC. Por otra parte, el Reglamento RLOC establece el derecho de acceder a uno de los canales resultantes de la compartición de la frecuencia asignada para la operación de televisión digital terrestre a fin de colocar, por sí mismo o a través de un tercero, contenidos de educación, cultura, salud y derechos; y el plazo de concesión para el aprovechamiento de las frecuencias de radio y televisión se realizará por el plazo de quince años y será renovable para el mismo concesionario por concesión directa una sola vez, y para posteriores renovaciones será mediante concurso público.

Mediante Resolución ARCOTEL-2015-0301 con fecha 14 de agosto de 2015, la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones emite la “Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre” que aplica a todas las personas naturales y jurídicas de derecho público o privado que brindan el servicio de radiodifusión de televisión digital terrestre; con esta Resolución se establece las condiciones técnicas para la asignación de canales y operación de estaciones del servicio de radiodifusión de televisión digital terrestre en el territorio ecuatoriano, de conformidad con el estándar ISDB-T Internacional (ISDB-Tb) adoptado el 25 de marzo de 2010. La presente Norma acoge los términos técnicos de la normativa de UIT y de la ABNT (Asociación Brasileña de Normas Técnicas).

De acuerdo con la Norma Técnica, se define a un sistema de radiodifusión de TDT, como el conjunto de la estación matriz, repetidoras y auxiliares, que emiten la misma y simultánea programación con carácter permanente; así mismo, se define los términos de área de cobertura, área de operación independiente, área de operación zonal, canal físico, canal lógico, canal virtual; y el tema de interés de este Proyecto de graduación la Red de Frecuencia Única, la cual consiste en un conjunto de transmisores de la matriz y repetidoras de un sistema de televisión digital terrestre que emiten la misma señal en el mismo canal físico.

Para regular el servicio de televisión digital terrestre en el Ecuador, se asignó la banda IV y banda V en UHF, por lo que para la canalización de las bandas de las frecuencias principales se ha considerado 32 canales físicos de 6MHz de ancho de banda cada uno, la frecuencia de la portadora central del canal debe ser desplazada positivamente 1/7MHz (142,857KHz) con relación a la frecuencia central, lo que se conoce también como off-set de frecuencia central del canal.

2.3 Actualidad del estado de la Televisión Analógica y Digital abierta en la ciudad de Guayaquil

En la actualidad, desde el punto de vista técnico, la televisión abierta en la ciudad de Guayaquil, se ha desarrollado de acuerdo a los avances tecnológicos en la región de Latinoamérica y conforme a la Ley - LOT, Reglamento - RLOT y normas técnicas (analógica y digital) establecida por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones – ARCOTEL.

ESTACIONES DE TELEVISIÓN ABIERTA ANALÓGICA Y DIGITAL EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL						
Provincia	Categoría	Nombre Estación	Frecuencia	Tipo	Area Servida	Ciudad Estudio
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	CANAL INTIMAS	34	M	GUAYAQUIL, SAMBORONDON, YAGUACHI NUEVO, ELOY ALFARO, MILAGRO	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	TV LEGISLATIVA	22	R	GUAYAQUIL Y OTROS CANTONES	QUITO
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	ASOMAVISION	28	R	GUAYAQUIL	QUITO
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION	10	M	GUAYAQUIL, DURAN, MILAGRO.	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	TELEVISION DEL PACIFICO	8	R	GUAYAQUIL	QUITO
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	CORPORACION ECUATORIANA DE TELEVISION	2	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	ESPOL TV	40	M	GUAYAQUIL, SAMBORONDON	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	ECUADOR TV	7	R	GUAYAQUIL	QUITO
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	ABC TV	46	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	EDUCA	43	R	GUAYAQUIL	QUITO
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	COSTANERA TV (RTU)	30	M	GUAYAQUIL Y ALREDEDORES	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	TELEVICENTRO -TVC (CANAL 5 VHF)	11	R	GUAYAQUIL	QUITO
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	TV+ (TEVEMAS)	26	M	GUAYAQUIL Y ALREDEDORES	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	CARAVANA TELEVISION	44	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	CANAL UNO	12	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	EL CIUDADANO TV	48	R	GUAYAQUIL	QUITO
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	TELEAMAZONAS GUAYAQUIL	5	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	RED TELESISTEMA (R.T.S)	4	M	GUAYAQUIL Y ALREDEDORES	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	CANELA TV	24	M	GUAYAQUIL, ELOY ALFARO (DURAN), YAGUACHI, SAMBORONDON	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	TELERAMA	32	R	GUAYAQUIL	CUENCA
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	RED TV ECUADOR	38	M	GUAYAQUIL Y ALREDEDORES	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	TELEVISION SATELITAL	36	M	GUAYAQUIL Y ALREDEDORES	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION ABIERTA	UCSG TELEVISION	42	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	TC TELEVISION	29	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	TELEVISION DEL PACIFICO	47	R	GUAYAQUIL	QUITO
GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	CORPORACION ECUATORIANA DE TELEVISION	23	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	ECUADOR TV	21	R	GUAYAQUIL	QUITO
GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	TV+ (TEVEMAS)	35	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	CANAL UNO	33	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	TELEAMAZONAS GUAYAQUIL TV DIGITAL	27	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	RED TELESISTEMA (R.T.S)	25	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	TELEVISION SATELITAL	39	M	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL

Nota: (M) - Matriz, (R) - Repetidora; Fuente: ARCOTEL. (Listado de estaciones de televisión a julio de 2016 - www.arcotel.gub.ec)

Tabla 4 Listado de las Estaciones de Televisión Abierta Digitales y Analógicas [1]

Del listado de estaciones de televisión, podemos establecer que se tiene en la ciudad de Guayaquil 23 estaciones de televisión abierta analógica y 9 estaciones de televisión digital terrestre, del total de 32 estaciones de televisión 22 son matriz con estudio principal en Guayaquil y 10 repetidoras.

De las estaciones de televisión concesionadas en la ciudad de Guayaquil, corresponden 24 estaciones de clase Comercial Privado, 7 estaciones de clase Servicio Público y 1 estación de clase Comunitaria; considerando que las estaciones matrices de transmisión digital emiten la misma programación de las estaciones analógicas según su correspondiente concesionario, en porcentaje, se tiene un 67% de estaciones privadas, 29% estaciones públicas y 4% estaciones comunitarias, con lo que el Estado está aún por alcanzar los porcentajes de distribución equitativa de frecuencias, establecidos en la Ley Orgánica de Comunicaciones – LOC 33%, 33% y 34% estaciones privadas, públicas y comunitarias, respectivamente.

Actualmente, el servicio de televisión en su mayoría está concesionado a estaciones de carácter privado de transmisión analógica, de estos contratos algunos se encuentran vigentes y otros prorrogados su fecha de caducidad, hasta que se asignen las frecuencias a los ganadores del “CONCURSO PÚBLICO PARA LA ADJUDICACIÓN DE FRECUENCIAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE MEDIOS DE COMUNICACIÓN SOCIAL PRIVADOS Y COMUNITARIOS DE RADIODIFUSIÓN SONORA Y/O DE TELEVISIÓN DE SEÑAL ABIERTA”; de igual manera se ha realizado contratos temporales a las estaciones de transmisión digital hasta que se asignen de manera definitiva a los ganadores del mencionado concurso, en el año 2017. La televisión digital terrestre, está en operación temporal en la ciudad de Guayaquil, y el Ministerio de Telecomunicaciones – MINTEL ejecuta los planes y proyectos para el apagón analógico, realizando un convenio con el Banco de Cooperación de Japón para financiar la migración analógico-digital; y la gestión de donación de 40 mil decodificadores por parte del Gobierno japonés, para ser distribuidos en los hogares de menores ingresos económicos en el Ecuador.

El concurso público para la adjudicación de frecuencias, está ejecutándose por parte de la ARCOTEL y sus bases y condiciones fueron publicadas el día 12 de abril de 2016; actualmente el concurso se encuentra en la etapa de revisión de los proyectos en sus aspectos técnicos con 20 puntos, económicos con 40 puntos y de gestión con 40 puntos; y los cinco mejores proyectos, serán remitidos al

Consejo de Regulación y desarrollo de la Información y Comunicación – CORDICOM, quién calificará los proyectos comunicacionales conforme lo establece el artículo 110 de la Ley Orgánica de Comunicación, aplicando los parámetros de evaluación contenidos en la Resolución No. CORDICOM-PLE-2016-09 de 24 de marzo de 2016. A la fecha ARCOTEL comunica que se recibieron de todas las provincias del país un total de 834 postulaciones, por medio de las cuales se están solicitando la adjudicación de un total de 1.486 frecuencias para los servicios de radiodifusión AM, FM y Televisión Abierta, para operar medios de comunicación social privados o comunitarios; y de estos conforme a las Actas de verificación de documentación ingresada, se tiene que las ofertas presentadas para la Área de Operación Independiente – AOI grupo G1 Guayas, da un total de 37 canales solicitados.

La ciudad de Guayaquil, está atendida por el servicio de televisión principalmente desde el Cerro Del Carmen a una altura de 80 metros y los transmisores con valores de potencia promedio de 4KW con antenas tipo arreglo de 20 paneles, logran dar cobertura a localidades cercanas como Durán, Yaguachi, Samborondón y Milagro; sin embargo en la propia ciudad de Guayaquil se tienen zonas de sombras preponderantemente en la ciudadela Los Ceibos que ha sido atendida por las estaciones de transmisión analógica con repetidores, y las otras zonas por las características propias de la transmisión analógica no han podido ser atendidas, lo cual constituye el tema de análisis de este trabajo, para la trasmisión digital.

CAPÍTULO 3

3. TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

3.1 Descripción del Sistema Brasileño-Japonés (ISDB-Tb)

El servicio de televisión digital abierta (Broadcasting) necesita ser estandarizado para que a su vez pueda ser transmitido y operado en los distintos países mejorando la calidad de Audio y Video, para lo cual existen distintas definiciones de estandarización avaladas por los respectivos organismos internacionales. El consorcio ARIB (Association of Radio Industries and Business) desarrollo la Norma ISDB-Tb (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial) [1] de origen Japonés desde Diciembre del 2003.

“Los países que han adoptado esta norma son Japón (transmisiones iniciadas en 2003), Brasil (adoptado en 2006), Perú (2009), Argentina (2009), Chile (2009), Venezuela (2009), Ecuador (2010), Costa Rica (2010), Paraguay (2010), Filipinas (2010), Bolivia (2010) y Uruguay (2011)” (p. 2) [2].

Con la adopción del Estándar Japonés realizada por Brasil, se incluyeron modificaciones considerables con el objetivo de maximizar el uso de la tecnología, mejorando la codificación de video en MPEG-4 (Moving Picture Experts Group) y haciendo más eficiente la movilidad, así como la mejora en la calidad del proceso interactivo con la incursión de GINGA [3] Convirtiendo el sistema de Televisión en una comunicación de “*doble vía*”.

3.1.1 Recomendaciones Internacionales

Debido a las modificaciones realizadas por el ANATEL (Agencia Nacional de Telecomunicaciones – Brasil), fue necesario establecer Normas de carácter internacional para estandarizar el comportamiento de la transmisión de Televisión Digital, que permita la comprensión del funcionamiento técnico y el procesamiento de señales; Por lo tanto se crearon distintas normativas Brasileña ABNT descritas a continuación en la siguiente tabla:

Normativa	Tema	Descripción
ABNT NBR 15601	Sistema de Transmisión	Describe las consideraciones técnicas necesarias para lograr la transmisión de la señal Digital mediante el estándar ISDB-Tb.
ABNT NBR 15602-1	Codificación de video, audio y multiplicación (Parte 1: Codificación de video)	Describe las especificaciones necesarias para la codificación del video de alta y estándar definición, así como para la resolución reducida.
ABNT NBR 15602-2	Codificación de video, audio y multiplicación (Parte 1: Codificación de audio)	Describe las especificaciones necesarias para la codificación del audio de alta y estándar definición, así como para la resolución reducida.
ABNT NBR 1560-1	Multiplexación y Servicios de Información (Parte 1: SI del sistema de Radiodifusión)	Describe cada uno de las tablas correspondientes a los servicios de información (SI) de las señales de TDT.
ABNT NBR 15603-2	Multiplexación y Servicios de Información (Parte 2: Estructura de datos y definiciones de la información básica de <i>Streaming Information</i>)	Describe la estructuración de los datos contenidas en las Tablas SI.
ABNT NBR 15604	Receptores	Describe los requerimientos funcionales necesarios con los que debe de contar el receptor de Televisión Digital, con el objetivo que soporte el estándar Brasileño – Japonés para señales fijas, móviles o portátiles.
ABNT NBR 15605	Control de Copias	Describe mecanismos que permitan controlar las copias del contenido de alta definición en la señal de TDT:
ABNT NBR 15606	Codificación y Transmisión de Datos	Describe un modelo para la transmisión codificada de la señal en TDT.

Tabla 5 Normativa Internacional para la transmisión de señal Digital Terrestre bajo el estándar ISDB-Tb [7]

La Norma ABNT NBR 15601 indica que “Un único canal de televisión debe obligatoriamente ser usado simultáneamente para servicio de recepción fija, recepción móvil y recepción portátil” [4] denominada Transmisión Jerárquica, la cual permite transmitir varios segmentos OFDM con codificación diferente de forma simultánea.

3.1.2 Descripción del estándar ISDB-Tb

El estándar ISDB-Tb conocido por sus siglas en inglés como *Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial Brazilian* (Servicios Integrado de Difusión Digital Terrestre con mejoras Brasileñas) fue desarrollado, por petición expresa de la Presidencia de Brasil, por un grupo de estudio compuesto por Ministerios, Institutos, Universidades, Organizaciones, fabricantes y Profesionales del área en investigación y dirigido por el ANATEL (Agencia Nacional de Telecomunicaciones) en el 2003. Se plantearon varias soluciones, entre ellas propuestas de creación de un estándar totalmente nuevo, pero prevaleció el hecho de que el estándar Japonés (ISDBT) presentaba mejoras significativas en relación a estándares presentes en esa actualidad (DVB, ATSC, etc) y era susceptible a cambios para optimizar su utilización en la transmisión de señales digitales.

Estas mejoras que dieron paso a la creación del estándar ISDB-Tb, radican básicamente en:

- Mejorar el sistema de compresión de video a MPEG-4, que permite cargar mayor cantidad de información, mejorando la calidad de imagen.
- Mejorar la interactividad brindada por esta tecnología, incursionando el Middleware GINGA de código abierto.

El estándar ISDB-Tb permite trabajar transmitiendo múltiples propuestas de programación en diferentes señales, pero utilizando el mismo canal de difusión. Para que esto suceda, es necesario que el *Transport Stream* de cada programación, debe estar adecuadamente organizado para que pueda ser transmitido con la codificación y modulación más adecuada, lo cual es permitido por el concepto que maneja la norma de transmisión en capas.

De este modo, las múltiples programaciones que poseen un *Transport Stream* específico, se deben combinar en un multiplexor, el cual será el responsable de formar un tren de transporte de difusión llamado BTS (Broadcasting Transport Stream).

La Figura 2 ilustra la forma básica de como las múltiples programaciones son multiplexadas formando un BTS, para que la secuencia ocurra en la transmisión de la señal a ser recibida por el espectador en su casa o dispositivo móvil.

Como cada programación podrá ser codificada y modulada de forma independiente, de acuerdo a lo permitido por el estándar ISDB-Tb, es necesario que exista un MUX ISDB-Tb, que además de combinar los *Transport Stream* de diferentes programaciones en una sola BTS, también tiene la función de señalar cuál es la capa que va a procesar cada uno de los *Transport Stream* con sus respectivas condiciones de codificación y modulación. A esta información de transmisión, control y configuración de multiplexación, se la denomina TMCC (Transmission and Multiplexing Configuration Control).

El MUX ISDB-Tb puede ser instalado en el transmisor del canal, pero es más común encontrarlo en el estudio donde se realiza la producción del contenido del canal de televisión.

Si el MUX ISDB-Tb se encuentra alejado del transmisor, ubicado en el estudio, se podrá realizar la comunicación con dicho transmisor, utilizando medios como microondas, satélites o fibra óptica.

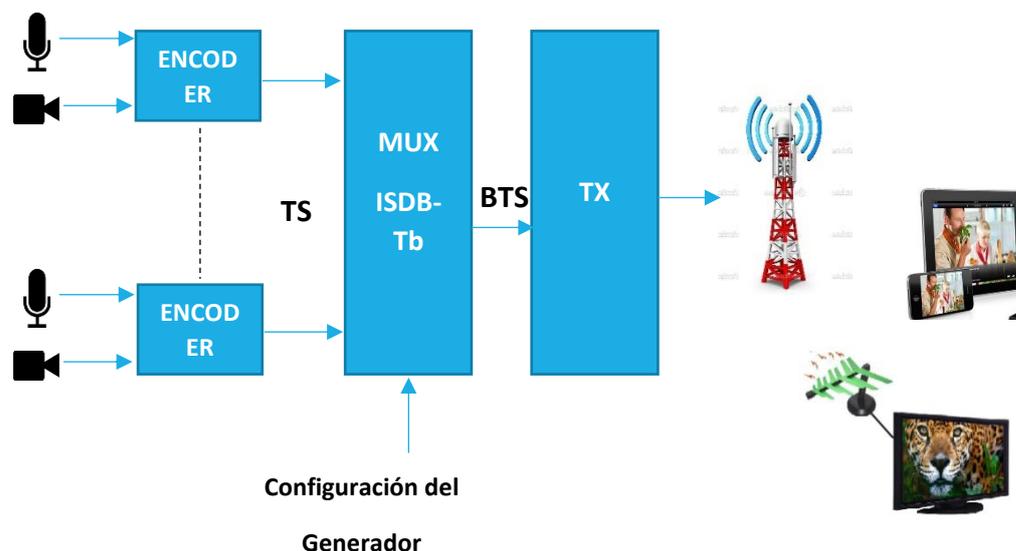


Figura 3. 1 Multiplexación de varias programaciones para la creación de BTS

Para entender los parámetros del estándar ISDB-Tb, es preciso analizar las estructuras del Transmisor (Tx) y del receptor (Rx) en cada uno de sus

bloques, debido a que es de vital importancia para el diseño de una red de frecuencia única.

El estándar ISDB-Tb trabaja con una estructura de transmisión que se la representa con la figura 3.2

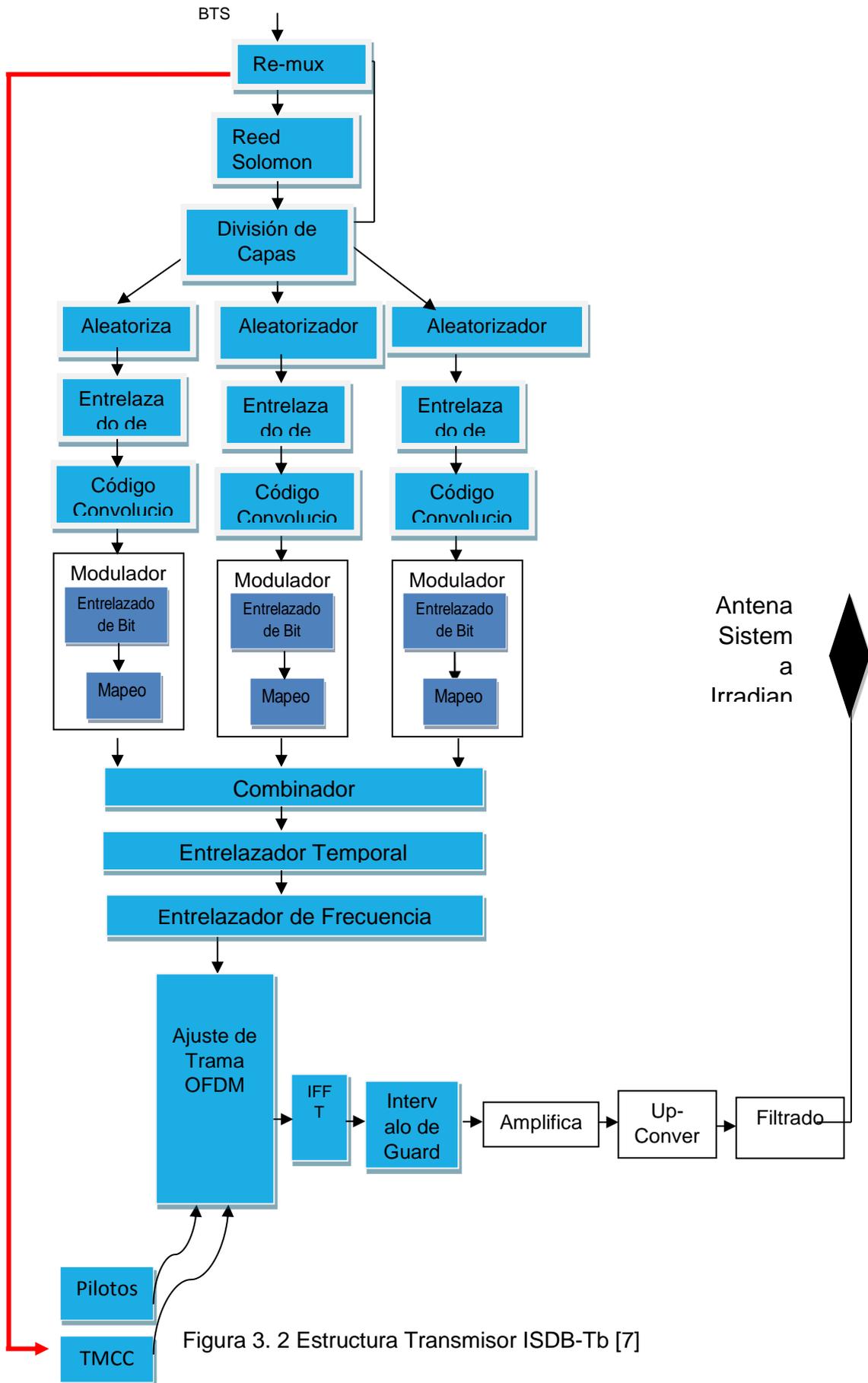


Figura 3. 2 Estructura Transmisor ISDB-Tb [7]

El primer bloque denominado **Re-mux** es el responsable de recibir el BTS para la decodificación de paquetes y controlar el bloque de **división de capas**, con el fin de que cada uno de los paquetes correspondiente a cada TS viaje a través de la capa correcta. A la salida del Re-mux tendremos los paquetes de cada *Transport Stream* únicamente con información referente a la programación que es transmitida.

Todos estos paquetes viajarán hacia el bloque **codificador Reed Solomon**. Este bloque codificador recibe paquetes de 188 bytes y ofrece en su salida paquetes de 204 bytes. De estos 204 bytes, 188 bytes corresponden al paquete original y 16 bytes son de corrección (uno de ellos de paridad), esto permite identificar en la recepción hasta 16 bytes con error y corregir hasta 8 bytes. El Codificador Reed Solomon se aplica a todos los paquetes, independientemente a que capa correspondan cada uno de ellos.

El bloque de **división de capas** será el encargado de encaminar los paquetes a cada capa A, B o C, de acuerdo al comando recibido por el Re-mux. Las capas son formadas por elementos idénticos, sin embargo, estos elementos pueden ser configurados de forma independiente para cada una de estas capas.

El primer elemento de la capa es un **aleatorizador** que tiene como principal función hacer que la señal de entrada tenga un comportamiento pseudo-aleatorio, de modo que es más fácil extraer el sincronismo en la recepción de la señal y para que la energía se distribuya de forma homogénea a lo largo de la banda de transmisión.

A continuación existe un **entrelazador de Bytes** que realiza la alteración temporal en la secuencia de transmisión de los Bytes. En lugar de transmitir los bytes en la secuencia en que fueron generados y organizados dentro del paquete, estos bytes son transmitidos en una nueva secuencia diferente a la antes mencionada. La misión principal de esta función es reducir la degeneración causada por la ráfaga de ruido que afecta a los sistemas de transmisión digital.

El **codificador convolucional** trabaja con un factor de corrección de error FEC (Forward Error Correction) que puede variar entre $1/2$ y $7/8$. Además hay un nuevo proceso de entrelazado, pero esta vez realizado en la secuencia de bits.

A medida que cada capa puede trabajar con diferentes modulaciones, los bits aleatorios se agrupan por el bloque **Mapeador** de palabra 2 bits, 6 bits y 4 bits para satisfacer las posibles modulaciones adoptadas por cada una de las capas, que son, respectivamente, QPSK, 16QAM y 64QAM.

Estos símbolos mapeados y organizados según la modulación por capa, pasan en secuencia a un combinador que realiza el **entrelazado temporal de frecuencia**. La señal que sale del entrelazador de frecuencia, es aplicada a un bloque responsable por la formación de las tramas OFDM. El bloque de **Ajuste de Trama de OFDM** recibe como información referente, la programación que debe ser transmitida en las señales de datos, para modulación de pilotos de monitoreos de sistemas y las señales de control, configuración de la transmisión y multiplexación llamado TMCC.

La información de programación, los datos de piloto y los datos de TMCC son debidamente organizados formando las tramas OFDM, que es aplicada al procesador digital de señales que opera la Transformada Rápida Inversa de Fourier, representada en el diagrama como **IFFT** (Inverse Fast Fourier Transform).

La última etapa del procesamiento de señal del estándar ISDB-Tb, es la inserción de un **intervalo de guarda**, que repite en el inicio del símbolo OFDM la información que se encuentra al final del mismo símbolo. El intervalo de guarda es importante para reducir al mínimo el efecto de multitrayecto, que ocurre en las transmisiones que se encuentran en la misma área, como es el caso de la radiodifusión y la transmisión al final de la trama OFDM durante el tiempo de guarda, que permite la comparación de señales idénticas afectadas por condiciones de diferencia de tiempo. Esta comparación ayuda a los procesos de ecualización utilizados en los receptores de Televisión.

Una vez completada la señal de transmisión, se debe convertir a la banda de UHF (Frecuencia Ultra Alta) y realizar la amplificación y filtrado para su transmisión por el sistema radiante (antena).

Para el sistema de recepción se deberá realizar todos los procesos antes descritos, de forma inversa, para que se pueda obtener el TS de programación que se desea. La figura 3.3 presenta el diagrama de bloques del sistema receptor:

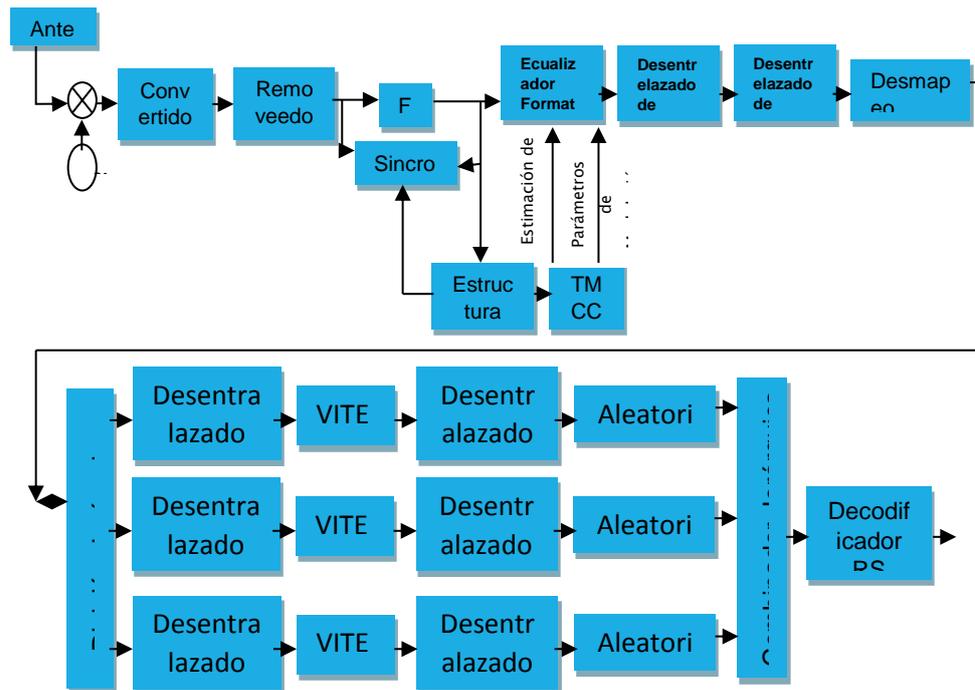


Figura 3. 3 Estructura Receptor ISDB-Tb [7]

Todos los elementos que forman parte de los diagramas de bloque tanto del transmisor como del receptor del estándar ISDB-Tb, son de gran importancia, puesto que de forma conjunta todos estos elementos pueden garantizar la robustez y el buen desempeño del estándar.

Sin embargo, la técnica de multiplexación por división de frecuencia ortogonal con codificación, denominada COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), se destaca dentro del sistema, debido a que a través de esta técnica, se reduce considerablemente el efecto de propagación por multitrayecto que resulta en interferencia intersimbólica.

Otro efecto que puede deteriorar considerablemente la recepción de una señal de Televisión digital para los dispositivos móviles, es el efecto doppler, el cual se estudiará en la siguiente sección.

3.1.3 Multitrayecto y Efecto Doppler

Una de las características más considerable en la el desvanecimiento de la señal en frecuencias menores a los 10 GHz es la propagación de multitrayecto [5] que consiste en el fenómeno causado por la reflexión y refracción de la señal dentro de la atmosfera, dicho efecto se produce

debido al “rebote” que sufren las ondas cuando chocan con los obstáculos naturales o creados por el hombre.

El efecto causado por estos choques se materializa en el retardo y atenuación de las señales conforme avanzan en su desplazamiento, es decir la energía de la señal transmitida se disipa en el tiempo, por lo tanto el dispositivo receptor detectara los denominados **canales de multitrayecto**.

El comportamiento de los canales de multitrayecto es muy variante, es decir, que la propagación de señales en espacios *indoor* difiere considerablemente en relación a espacios *outdoor*, de igual manera puede diferir su comportamiento por el tipo de frecuencia utilizada para la transmisión.

Cuando se presenta varios caminos de propagación de una señal, la longitud en la trayectoria de la señal sobre el receptor crea variaciones de fase en dicho dispositivo, según se aprecia en la figura 5.

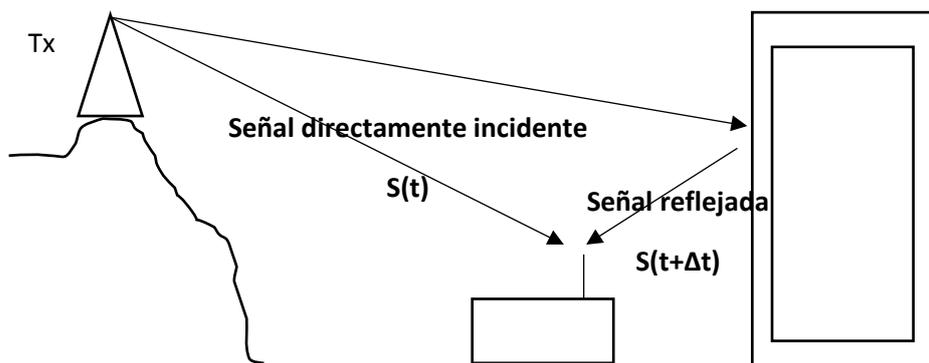


Figura 3. 4 : Multitrayecto outdoor

En la Figura 3.4 se puede observar que existen señales que viajan por trayectorias diferentes a la señal principal $s(t)$, donde dichas señales arriban al receptor en tiempos distintos, corrimientos de fase, etc [6]

Desde el punto de vista de los servicios de televisión analógica este efecto multitrayecto afecta directamente a la imagen de la señal recibida, creando imágenes “fantasmas” en el equipo del usuario final debido a los cambios abruptos en la intensidad de la misma; por otro lado en la recepción de televisión digital terrestre, dicho efecto causa pérdida de información o interferencia inter-símbolo (ISI) lo que conlleva a que la imagen se “congele” o simplemente se observa la pantalla en negro sin de modular

la señal, debido a los "ecos" o dispersión causada por el desfase en el tiempo de la señal.

Para reducir el efecto de multitrayecto es importante hacer que el tiempo de símbolo, sea mucho mayor que el tiempo de atraso entre las diferentes trayectorias de ondas que provienen de diferentes caminos. Esta solución se puede lograr utilizando múltiples portadoras con baja tasa de transmisión.

Por lo tanto, un haz de transmisión (información de programación, datos de monitoreo y datos de administración de sistema) que posee una alta tasa de transmisión es dividida en múltiples señales con baja tasa de transmisión. Estos pequeños haces son transmitidos por múltiples portadoras, donde cada una de estas portadoras tienen un tiempo de símbolo mucho mayor que el tiempo de retardo causado por los multitrayectos.

Para que el espectro sea ocupado con múltiples portadoras, manteniendo la eficiencia del uso del espectro, se utiliza la técnica COFDM, que organizará las miles de portadoras moduladas en QPSK o QAM en la banda del canal destinado por el sistema.

El desvanecimiento de una la señal durante su propagación, puede ser causado por las multitrayectorias que experimenta la señal o por el fenómeno conocido como *Efecto Doppler*, que no es más que un cambio de frecuencia que se produce en la onda cuando el receptor de la señal se encuentra en movimiento respecto a su fuente emisor.

Debido a que la frecuencia varía por el movimiento del receptor respecto al transmisor, es necesario describir matemáticamente dicha variación:

$$f_d(t) = \frac{v \cos(\theta_s) + 2\pi R r \sin[\theta_s - (2\pi R t + \theta_0)]}{\lambda} \quad (3.1)$$

Donde f_d es la frecuencia causada por el efecto doppler, λ es la longitud de onda de la señal, θ_s es el Angulo entre el vector de movimiento y el vector de rotación de dirección.

Considerando que TDT permite transmitir señales para dispositivos móviles, es de vital importancia conocer el efecto que causa este fenómeno en dicha transmisión. Varias investigaciones realizadas dentro del país a nivel técnico/práctico, han concluido que el estándar ISDB-Tb

es el más robusto, en comparación a los demás estándares existentes para Televisión digital Terrestre, frente al efecto de desvanecimiento de la señal producido por la existencia de multitrayectos o por efecto doppler [7].

3.1.4 Modulaciones Soportadas por ISDB-Tb

El esquema de modulación de la señal de televisión digital para el estándar ISDB-Tb es OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) o *Modulación por División Ortogonal de Frecuencia*, mientras que las portadoras de la señal a su vez pueden estar moduladas en DQPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM.

Modulación OFDM

A medida que trabajamos con un ancho de banda más grande, la señal transmitida es más susceptible a interferencia entre símbolo, debido a los desvanecimientos de frecuencia en el tiempo que se presentan por el efecto *multicamino* (los símbolos que son receptados por diferentes caminos se los denomina "ecos"). Cuando se transmite mayor cantidad de símbolos, esta interferencia puede llegar a interrumpir por completo la transmisión de la señal.

Una técnica que permite evitar lo antes mencionado y trabajar con un ancho de banda grande (6MHz para Televisión) es la Multiplexación Ortogonal por división de Frecuencia; la cual trata en dividir en frecuencia varias portadoras con ancho de banda pequeños pero ortogonales entre sí, es decir que pueden estar solapadas entre ellas sin causarse interferencia, a estas portadoras se las conoce como *subportadoras*, las cuales tendrán un tiempo de símbolo muy grande en relación a los posibles "eco", de tal manera que la interferencia entre símbolo (ISI) sea despreciable.

Para lograr lo antes mencionado, OFDM se basa en un concepto de la Transformada Rápida de Fourier [8] de un pulso temporal (Figura 6 (Figura 5.a)), es decir una señal que se encuentra activa durante un intervalo de

tiempo " ζ " denominado Tiempo útil de símbolo y que luego de dicho tiempo desaparece. Al realizar la transformada del pulso mencionado, obtenemos una señal *sinc* infinita con nulos en $1/\zeta$ (Figura 3.5) y con amplitud $A\zeta$.

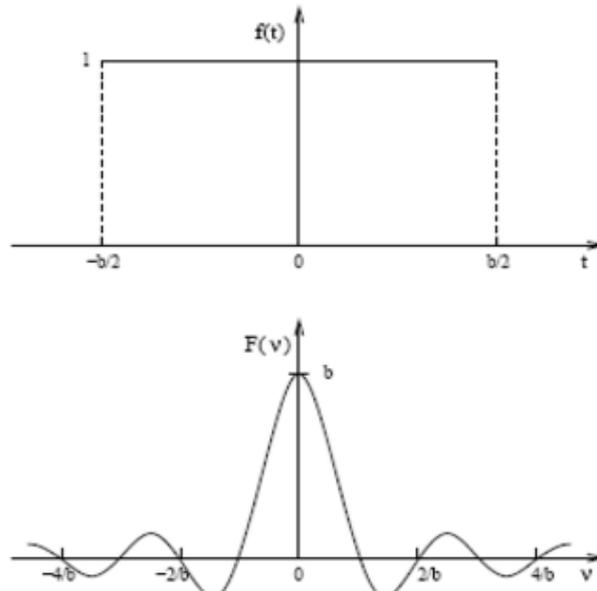


Figura 3. 5 Portadoras en Modulación OFDM

Por otro lado es necesario tener varias señales *sinc* separadas en frecuencia por $1/\zeta$ y moduladas (QAM o PSK) con una amplitud de $A\zeta$, para lograrlo se necesita introducir una ventana temporal (Figura 5.a) multiplicada en el tiempo por cada uno de los símbolos ($x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$) y a su vez separarlas en frecuencia:

$$y(t) = A \gamma \left(\frac{t}{\zeta} \right) \quad (3. 2)$$

$$x_0 \left(\gamma \left(\frac{t}{\zeta} \right) \right)$$

$$x_1 \left(\gamma \left(\frac{t}{\zeta} \right) \right) e^{j2\pi \left(\frac{1}{\zeta} \right) t}$$

$$x_2 \left(\gamma \left(\frac{t}{\zeta} \right) \right) e^{j2\pi \left(\frac{2}{\zeta} \right) t}$$

.....

$$x_N \left(\gamma \left(\frac{t}{\zeta} \right) \right) e^{j2\pi \left(\frac{N}{\zeta} \right) t} \quad (3.3)$$

Con la ecuación (3.3) se puede lograr transmitir un conjunto de señales *sinc* moduladas cada una por un símbolo colocadas ortogonalmente entre ellas evitando la interferencia entre símbolo. Entonces una señal OFDM modulada puede expresarse según la siguiente ecuación:

$$s(t) = \sum_{k=1}^N A_k \cos \left[\left(w_c + \frac{2\pi k}{T_u} \right) * t + \theta_k \right] \quad (3.4)$$

Donde N es el número de *subportadoras* ortogonales ligado al número de muestras que usa la FFT y al ancho de banda del canal. Los valores de A_k y θ_k serán todos los valores posibles correspondiente a cada constelación.

La eficiencia en el uso del espectro originada por la no utilización de bandas de guarda en las *subportadoras* ortogonales que brinda la modulación OFDM, conlleva a que dicha modulación sea capaz de tener tasa de transmisión mucho más alta que otras modulaciones, convirtiéndola en una herramienta ideal para servicios de banda ancha.

Modulación QPSK

Para comprender el funcionamiento de la modulación QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying), es necesario, inicialmente, esclarecer el concepto de la modulación digital PSK (Phase-Shift Keying). PSK permite modular información variando la fase de las portadoras (representación de cada símbolo de información) en función de los datos que se transmitirán, de 1 hasta M símbolos posibles, pero manteniendo una amplitud constante de dichas portadoras. Los símbolos utilizados tendrán la siguiente representación matemática:

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(w_c t + \phi + \theta_i(t)) \quad (3.5)$$

Que puede ser representada de la siguiente manera:

$$S_i(t) = A_c \cos(w_c t + \phi + \theta_i(t)); \text{ donde } 0 \leq t \leq T \text{ e } i = 0, 1, \dots, M - 1 \quad (3.6)$$

Donde:

E = Energía de la portadora

T = Período de símbolo

A_c = Amplitud de la portadora

w_c = Frecuencia de la Portadora

\emptyset = fase de la portadora

$\theta_i(t)$ = Fase de la portadora en función del tiempo y los datos

Para el cálculo de la variación de la fase de la portadora en función del tiempo y los datos, es necesario conocer el símbolo que se transmite y a la totalidad de los mismos:

$$\theta_i(t) = \frac{2\pi i}{M}; \text{ donde } i = 0, \dots, M - 1 \quad (3.7)$$

La expresión matemática de la señal transmitida y modulada será:

$$y(t) = A \cos(w_c t) * \sum_M a_n p(t - nT) + A \sin(w_c t) * \sum_M b_n p(t - nT)$$

$$a_n = \cos\left(\frac{2\pi i}{M}\right) \quad b_n = \sin\left(\frac{2\pi i}{M}\right) \quad i = 0, \dots, M - 1$$

Si lo antes mencionado lo graficamos en un diagrama de constelación, tendremos:

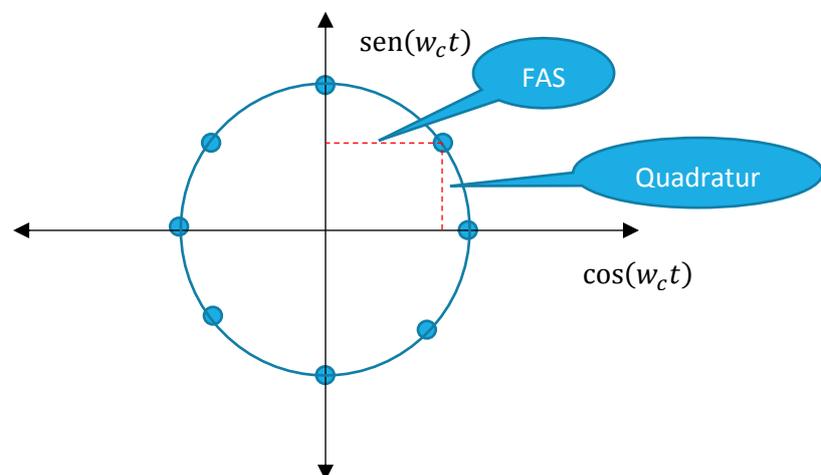


Figura 3. 6 Diagrama de constelación de una señal modulada mediante PSK

Gráficamente se puede determinar la señal que viaja en el medio modulada en fase, de la siguiente manera:

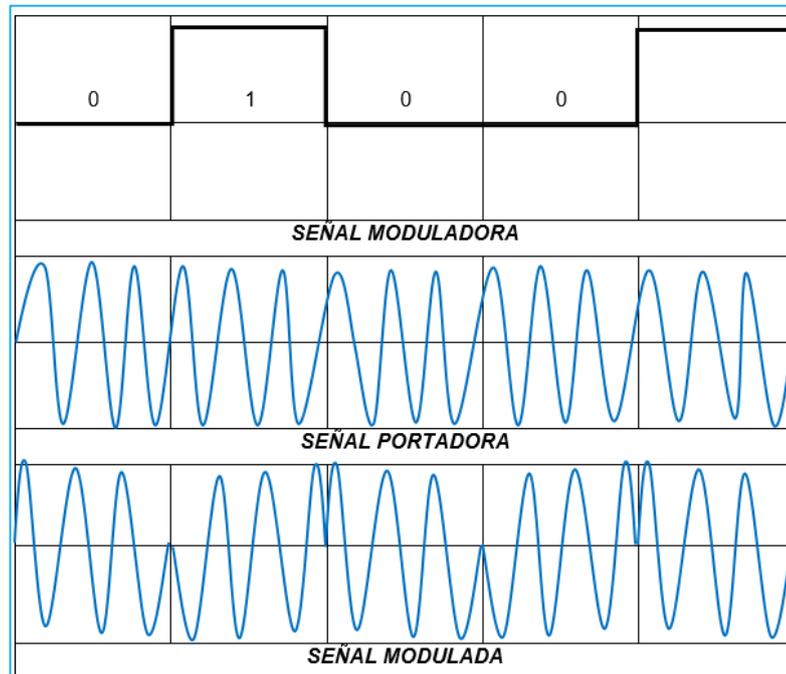


Figura 3. 7 Señal modulada mediante PSK

La adopción del estándar ISDB-Tb, permite la transmisión de un canal en modalidad “móvil”, es decir, que el receptor de dicho canal pueda demodular la señal mientras se encuentra en movimiento. Para permitir la mencionada transmisión en el estándar Brasileño-Japonés, es necesario que los símbolos se transmitan utilizando una modulación QPSK.

La modulación lineal digital QPSK transmite la información en la fase de la señal portadora, donde cada fase tomará uno de cuatro valores igualmente espaciados ($0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$) correspondiente a un único símbolo [9]. Matemáticamente dicha señal puede ser representada de la siguiente manera:

$$S_{QPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos[2\pi f_c t + (i-1)\frac{\pi}{2}] \quad 0 \leq t \leq T; i = 1,2,3,4 \quad (3.8)$$

El diagrama de estado o de constelación de una señal QPSK se deriva de la unión de dos señales BPSK descritas anteriormente, de la siguiente manera:

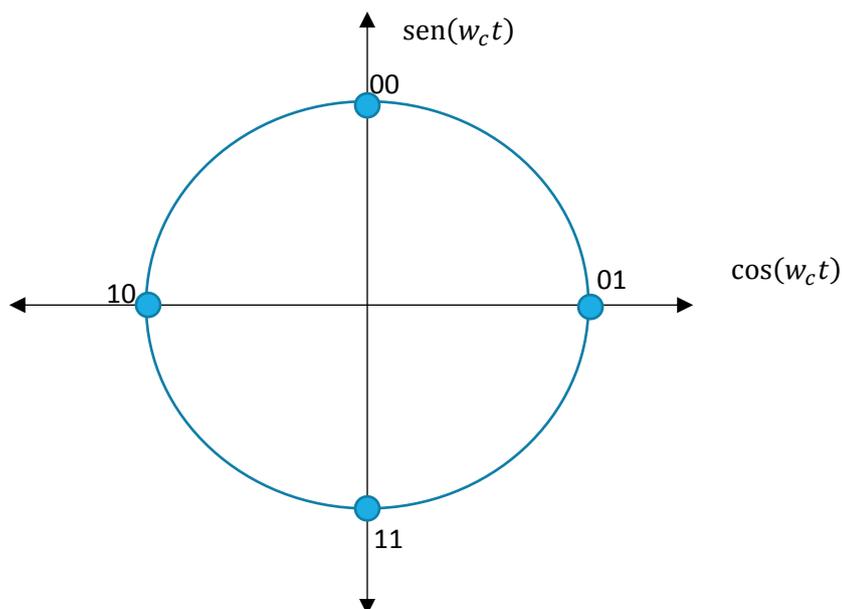


Figura 3. 8 Diagrama de constelación de una señal modulada mediante QPSK

Para mayor comprensión del diagrama anterior, se presenta la relación que existe entre el dicit y el desplazamiento de fase de la señal:

Dicit	fase
00	$\pi/2$
01	0
10	π
11	$3 \pi/2$

Tabla 6: Relación dicit/fase

En una modulación QPSK, cada valor del dicit (salida de fase) tienen la misma amplitud, lo que indica que la señal es codificada completamente en la fase.

Cuando la señal (cadena de mensajes binarios) es recibida en la entrada del modulador con una frecuencia de muestreo f_c , es necesario dividirla en 2 bits en paralelo los cuales se dirigirán al canal de la señal **I** y el canal **Q** convertidas en una secuencia no retorno a cero (NRZ) bipolar con una frecuencia $f_c/2$. El bit **I** (un bit de fase) es enviado a un modulador que contiene una portadora en fase con el oscilador de referencia, mientras que el bit **Q** (un bit en cuadratura) se modula con una portadora desplazada su fase en 90° con relación al oscilador de referencia y

finalmente dichas señales pasan a un sumador lineal y luego a un filtro pasa banda (BFP), para que finalmente esté lista para transmitir [9].

Debido a que la señal de entrada al transmisor es dividida en 2 señales (fase y cuadratura) individuales, es importante mencionar que se produce una compresión del ancho de banda, puesto que la tasa de bits de cada una de dichas señales será igual a la mitad de los datos de entrada, lo que permite indicar que la tasa de transmisión de símbolo es directamente proporcional al ancho de banda de cada bit.

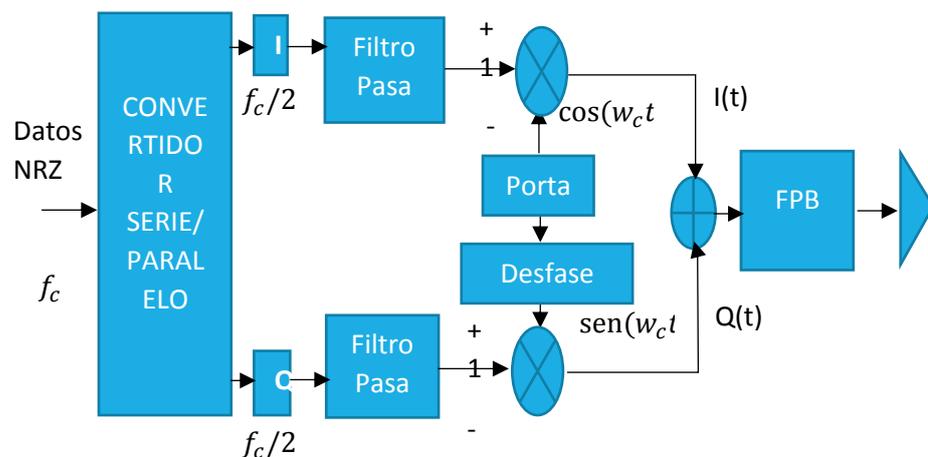


Figura 3. 9 Diagrama de bloque de un transmisor QPSK

En el diagrama se puede mostrar que para un 1 lógico, se considera el valor de +1V, mientras que para un 0 lógico, se considera -1V; al final en el amplificador, gracias a la suma lineal de las dos señales desplazadas, se obtendrá las 4 fases, de igual amplitud, representadas en la constelación.

En televisión Digital, con el estándar ISDB-Tb, la modulación QPSK se utiliza para modular el segmento destinado para la televisión móvil denominado *one seg*, debido a que dicha modulación presta las facilidades para transmitir señales reduciendo la probabilidad de error en la transmisión, aunque considerando que la señal transmitida no estará en Alta definición, sino en definición estándar.

Modulación QAM

La Modulación de Amplitud en Cuadratura, a diferencia de QPSK donde el mensaje se encuentra en la fase, la información del mensaje se encuentra inmerso en la amplitud y la fase de la señal, es decir en este caso la amplitud de la señal no es constante. El poder modular dos señales con diferentes fases en un mismo ancho de banda, debido a que el desfase de 90° proporciona dos canales ortogonales, permite tener un canal más eficiente desde el punto de vista del ancho de banda de la señal.

Esta prestación de eficiencia mencionada anteriormente, permite utilizar esta técnica en distintos servicios de comunicación, como en sistemas de televisión digital. Según indica [10] en el cálculo de la probabilidad de error, un sistema QAM M-ario (M representa el número de símbolos o estados de modulación que puede ser 4, 8, 16, 32 y 64, es decir que si utilizo la modulación 64QAM necesito 6 bits para dicha modulación $M = 2^6 = 64$) supera a los sistemas PSK M-ario siempre y cuando el canal esté libre de no-linealidades.

Una señal modulada en QAM, está compuesta por una señal modulada linealmente por una envolvente de una señal coseno y por otra envolvente de una señal seno, completamente independiente, puede ser matemáticamente descrita de la siguiente forma:

$$x_c(t) = s_1(t) \cos(2\pi f_c t) + s_2(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (3.9)$$

Donde s_1 y s_2 corresponde a cada uno de los canales transmitidos utilizando el mismo ancho de banda.

Para explicar el grafico de la constelación tomaremos como ejemplo 4-QAM, para dicha modulación es necesario trabajar con 2 bits, el primero se lo denominara como el bit más significativo (BMS) y el segundo como el bit menos significativo (BLS) y la representación de ellos significara la ubicación de cada punto en la constelación (fig.3.10) dependiendo de las señales seno y coseno:

BMS	Señal	BLS	Señal	
0	$\text{Cos}(\Theta)$	0	$\text{Sen}(\Theta)$	$\text{Cos}(\Theta) + \text{Sen}(\Theta)$
0	$\text{Cos}(\Theta)$	1	$-\text{Sen}(\Theta)$	$\text{Cos}(\Theta) - \text{Sen}(\Theta)$
1	$-\text{Cos}(\Theta)$	0	$\text{Sen}(\Theta)$	$-\text{Cos}(\Theta) + \text{Sen}(\Theta)$
1	$-\text{Cos}(\Theta)$	1	$-\text{Sen}(\Theta)$	$-\text{Cos}(\Theta) - \text{Sen}(\Theta)$

Tabla 7: Composición de constelación de la modulación 4-QAM

Para representar el diagrama de constelación (fig. 3.11) de una modulación 16 QAM, es necesario utilizar 4 bits, de la siguiente manera:

BMS (1)	Signo	BMS (2)	Amplitud	BLS (1)	Signo	BLS (2)	Amplitud	Señal
0	+	0	1	0	+	0	1	$\text{Cos}(\Theta) + \text{Sen}(\Theta)$
1	-	1	$\frac{1}{2}$	1	-	1	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2} \text{Cos}(\Theta) - \frac{1}{2} \text{Sen}(\Theta)$

Tabla 8: Composición de constelación de la modulación 16-QAM

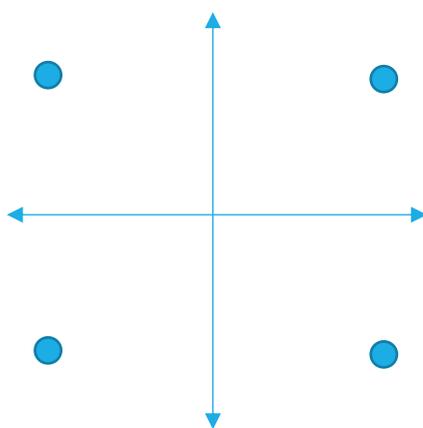


Figura 3. 11 Constelación 4-QAM

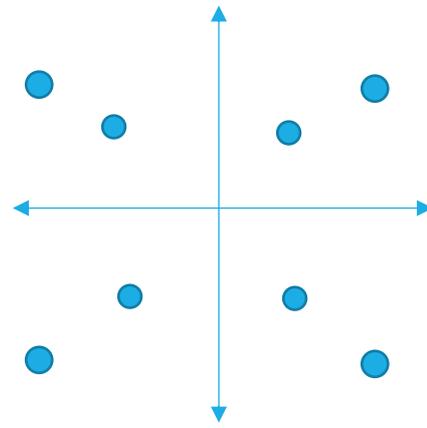


Figura 3. 10 Constelación 16-QAM

3.1.5 Multiplexación por División de Frecuencia Codificada (COFDM)

Es una técnica de modulación de banda ancha que permite la transmisión de datos digitales utilizando una combinación de técnicas de codificación y la multiplicación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), la cual permite realizar la transmisión de distintas portadoras traslapadas entre sí.

COFDM permite la modulación de información en un gran número de portadoras utilizando técnicas de FDM brindando características que

convierten a esta modulación ideal para la transmisión de señales de televisión digital terrestre [11].

La codificación, que comprime los datos digitales, aplicada a la entrada (COFDM) se adapta a la codificación del canal, de tal manera que se pueda operar tramas de K Bytes aumentando la capacidad de transmisión, caso que se ajusta a la cantidad de información en TDT.

En la fig. 3.12 Se puede observar un transmisor COFDM utilizado para TDT, el cual codifica los datos en la entrada utilizando un Codificador Convolutivo con una tasa de $\frac{1}{2}$, es decir que por cada bit de información de entrada se obtienen 2 bits de salida, con el objetivo de dar redundancia a los datos de tal manera que pueda realizar la corrección de errores en el decodificador. Luego se procede a realizar el entrelazado de frecuencia para organizar los datos de forma no contigua o pseudoaleatoria, de tal manera que se pueda distribuir los bits de información en las portadoras de un símbolo OFDM [12].

Una vez realizado el aporte de COFDM, los bits que se encuentran codificados y entrelazados pasan al modulador OFDM, donde inicialmente se modulan de a dos bits con QPSK y luego dan origen a un símbolo formado por 8 portadoras procesadas por la IFFT (Transformada Inversa de Fourier Rápida) con duración T_u (*periodo de símbolo útil*), a dichos símbolos se les agrega el intervalo de guarda que no es más que una copia de un determinado número de las últimas muestras de la IFFT. Considerando que los símbolos son datos digitales, es necesario pasar dichos datos a un Convertidor Analógico Digital (DAC) y modular la señal en cuadratura para ser enviado por RF (radio frecuencia).

A la salida del modulador COFDM se podrá apreciar 8 portadoras ortogonales centradas en una frecuencia f_c cada una de ellas agrupadas de a 4 símbolos para formar una trama OFDM.

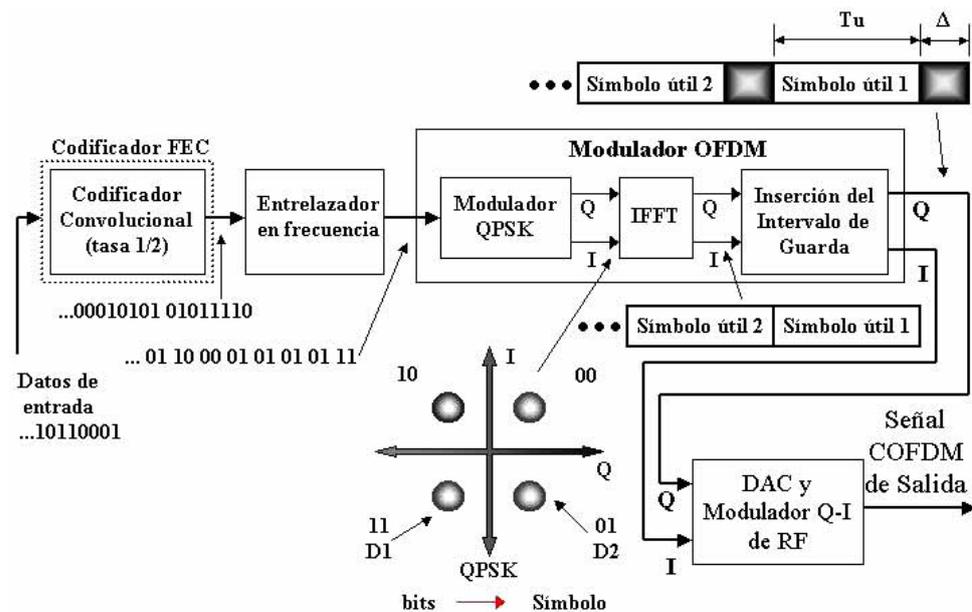


Figura 3. 12 Transmisor COFDM [15]

Para comprender el comportamiento de la transmisión COFDM, es necesario conceptualizar los siguientes parámetros de la transmisión:

Ancho de Banda (BW): depende de la cantidad de portadoras (P_i) ortogonales que se transmiten en un periodo de símbolo útil (T_u):

$$BW = \frac{P_i}{T_u} \text{ (Hz)} \quad (3. 10)$$

Duración del intervalo de Guarda (Δ_G): Tiempo que transcurre las portadoras que han sido agregadas al final de la transmisión.

Tasa de transmisión (T_b): Es el número de portadores que se incluye durante el periodo de símbolo útil y la duración del intervalo de guarda, puede expresar matemáticamente de la siguiente manera:

$$T_b = \frac{P_i}{T_u + \Delta_G} \times B_M \times T_{FEC} \quad (3. 11)$$

Donde T_{FEC} es la Tasa empleada por el codificador convolutivo FEC.

COFDM y OFDM

La integración que pueda ocurrir entre la codificación del canal y la modulación OFDM, da paso a que la señal a transmitir este en la capacidad de soportar el multitrayecto "severo", interferencias co-canales

e interferencias por ruido. De manera conjunta, estas dos técnicas ofrecen las siguientes características [11]:

- Ortogonalidad (propio de OFDM).
- Esquema de Modulación (propio de OFDM).
- Inclusión del Intervalo de Guarda (propio de "C").
- Sincronización en recepción de portadoras (propio de "C").
- Ecuación (propio de "C")
- Corrector de Errores.

Esta integración que converge en COFDM, brinda las herramientas de codificación contra errores, el entrelazamiento de portadoras de datos en frecuencia y tiempo y la información del estado del canal permitiendo mejorar la eficiencia y desempeño del decodificador [11].

COFDM, como parte de la mejora de OFDM, agrega un codificador compuesto conjuntamente por un código convolucional y un entrelazado de portadoras, que logran proteger del desvanecimiento selectivo a las portadoras locales.

La ventaja de poder contar con una Modulación Jerárquica, es que permite realizar una transmisión más eficiente de las señales moduladas en QPSK, desde el punto de vista de interferencia, debido a que integra dicha modulación en el interior de una constelación QAM, lo cual lo hace ideal para la transmisión de un canal móvil en definición estándar.

En la transmisión de señales de TDT se integra una portadora piloto por cada ancho de banda a transmitir, al enviar una secuencia de entrenamiento de dichas portadoras, permite determinar la respuesta en frecuencia del canal lo cual reduce la influencia de dicho canal sobre los datos transmitidos, esta simplificación de "ecualización" es otra de las ventajas que ofrece COFDM [11].

La característica principal que tiene COFDM y motiva al desarrollo del presente trabajo es la incursión del intervalo de guarda, que permite disminuir considerablemente los efectos multi-trayecto producidos por la llegada en distintos instantes de tiempo de las señales, de tal manera que brinda la posibilidad de colocar varios transmisores operando en la misma frecuencia, y que el receptor sea capaz de sumar dichas señales evitando la posible interferencia por multi-camino.

3.1.6 Descripción de los parámetros técnicos

Para efectos de poder desplegar una red SFN garantizando la recepción de la señal, la norma Brasileña ofrece 3 opciones de separación denominados “Modos”, que permitirán realizar la separación en frecuencia de cada una de las portadoras OFDM, con valores aproximados en 4KHz, 2KHz o 1KHz para el Modo 1, Modo 2 y Modo 3 respectivamente.

De la selección del Modo de operación, se derivaran varios parámetros establecidos en la Normativa para la transmisión del sistema, tales como:

PARÁMETROS	VALORES				
Ancho de Banda UHF (MHz)	Modo 1	5,575			
	Modo 2	5,573			
	Modo 3	5,572			
Número de Portadoras para la programación de emisión	Modo 1	1405			
	Modo 2	2809			
	Modo 3	5617			
Duración de Símbolos Activos (μ s)	Modo 1	252			
	Modo 2	504			
	Modo 3	1008			
Separación de Portadoras (KHz)	Modo 1	3,968			
	Modo 2	1,984			
	Modo 3	0,992			
Duración del Intervalo de Guarda (μ s)	Intervalo de Guarda:	1/4	1/8	1/16	1/32
	Modo 1	63	31,5	15,75	7,875
	Modo 2	126	63	31,5	15,75
	Modo 3	252	126	63	31,5
Duración Total de los Símbolos (μ s)	Modo 1	315	283,5	267,75	259,875
	Modo 2	628	565	533,5	517,75
	Modo 3	1260	1134	1071	1039,5
Entrelazamiento Interno (Símbolos)	Modo 1	0	380	760	1520
	Modo 2	0	190	380	760
	Modo 3	0	95	190	380

Tabla 9: Parámetros según los Modos de separación [7]

En una transmisión de Televisión Digital Terrestre realizada bajo los parámetros del estándar Brasileño-Japonés, debe ser capaz de enviar información, correspondiente a un canal determinado de 6MHz donde se incluye Video, Audio y Datos constituyendo un grupo de datos transmitidos o TS (Transport Stream), en una señal OFDM común previamente

Multiplexada y Codificada en 13 segmentos, de los cuales cada uno de ellos ocupe $1/14$ del ancho total del canal de comunicación. En la totalidad del ancho del canal se debe incluir información acerca de los 3 tipos de servicios que ofrece TDT (Señal de recepción fija, móvil y portátil) codificado en cada uno de los 13 segmentos OFDM; estos segmentos pasaran, posterior a la codificación y asignación de una señal piloto y la señal de Control TMCC (Transmission Multiplexing Control Configuration) a cada uno de ellos, a ser tratados por la IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) obteniendo como resultado una señal OFDM lista para transmitir.

La jerarquía en transmisión que brinda el estándar ISDB-Tb, permite dividir el canal de comunicación hasta en 3 capas formadas por los distintos segmentos OFDM, el número de segmentos que constituyen a cada capa será considerado por el radiodifusor, cada una de dichas capas llevaran consigo información de control y pertinente a *modulación*, *time-interleaving* y tasa de *inner code* que permitan al receptor identificar los modos de operación.

En el proceso de codificación del Canal, ABNT NBR 15601 sostiene que el grupo de datos a transmitir (TS) debe ser convertido mediante un Multiplexador (con un clock de muestreo 4 veces mayor al clock de la IFFT) a una señal de 188 bytes que estará lista para ser aplicada a un codificador externo llamado de Reed Solomon. Posteriormente dicha ráfaga de señal deberá ser distribuida a los distintos niveles jerárquicos, de acuerdo a la información de cada capa, para que sean procesados paralelamente de manera simultánea. Durante este procesamiento, se incluirá el codificador de errores (interleaving) para la debida corrección, la longitud del entrelazamiento y la respectiva modulación de la portadora independientemente de cada capa.

Una vez procesadas las capas jerárquicas, se procederá a combinar cada una de ellas para realizar el entrelazado en tiempo y frecuencia agregando una Señal Piloto, Señal que permitirá realizar la sincronización del sistema, y la Señal TMCC (Transmission and Multiplexing configuration control), señales que permitirán al receptor realizar la correcta demodulación de la señal según los parámetros dispuestos en el

modulador, para formar la estructura del cuadro OFDM que será expuesto a la IFFT.

En la recepción de un Símbolo OFDM, la señal de entrada ingresara al divisor jerárquico organizada ascendentemente según el número del segmento, así como también de manera ascendente según el número de la frecuencia de la portadora de símbolo; es decir, que en cada segmento estará compuesto por bloques de portadoras correspondiente a cada una de las capas jerárquicas (Capa A, B o C) y una señal Nula que corresponde a la suma del muestreo de la Señal piloto, del FFT e intervalo de guarda.

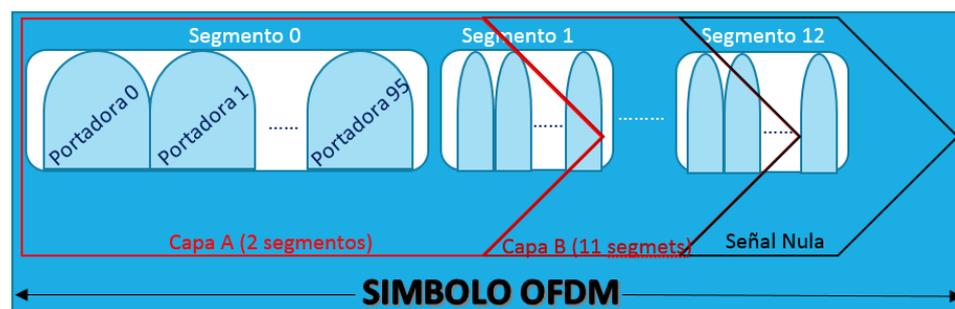


Figura 3. 13 Organización jerárquica de Señal de entrada [7]

Al momento de realizar la codificación convolucional de los datos se produce el *byte interleaving* que dota a la transmisión con mayor robustez frente al desvanecimiento que puede ocurrir por aleatorización de símbolo, por lo tanto, esta norma presenta un circuito de *byte interleaving* que provoca que las entradas conmuten por diferentes caminos secuencialmente organizados ascendentemente desde 0 hasta 11:

Posición del Conmutador	Atraso asignado
0	Ninguno
1	17 bytes
2	17x2 bytes
3	17x3 bytes
4	17x4 bytes
⋮	⋮
11	17x11 bytes

Tabla 10: Asignación de Byte Interleaving

Finalmente las modulaciones de la portadora establecidas por esta Norma pueden ser escogidas entre DQPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM, cada una de ellas insertando un tiempo de atraso diferente para la modulación debido al número de bits de símbolo a utilizar en la portadora. Dicho retardo deberá ser ajustado en la entrada del *bit interleaving*, de acuerdo a la tabla 9, con el objetivo de que en la recepción de la señal se utilice el mismo atraso.

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

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

Tabla 11: Ajuste del valor de atraso requerido por el bit interleaving [7]

La distribución de las portadoras y símbolos dentro de un segmento OFDM dependerá del tipo de modulación que se utilice, para ello gráficamente se puede apreciar en la Figura 3.14 y 3.15 la distribución para modulación diferencial (DQPSK) y modulación sincrónica (QPSK, 16QAM, 64QAM) respectivamente.

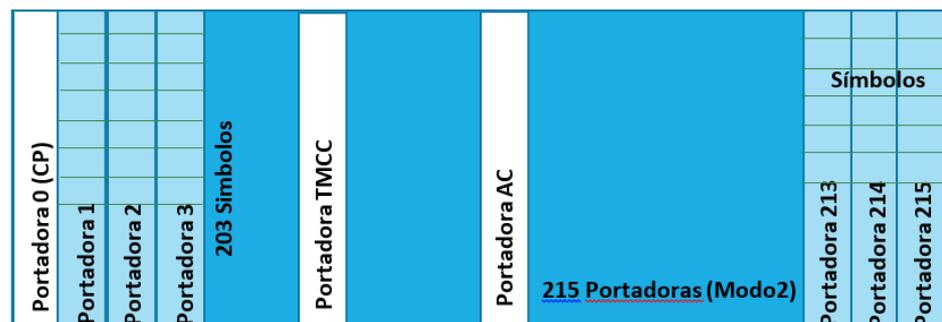


Figura 3. 14 Distribución de símbolos y portadoras Modulación diferencial [7]

Señal	Características
Piloto continuo (CP)	Señal modulada BPSK según la posición de la portadora con amplitud de 4/3, -4/3 o 0 (I, Q)
TMCC	Es transmitida por la señal DBPSK, esta señal modulada debe de estar en los puntos (4/3, 0) y (-4/3, 0) de la constelación. Lleva información que permite al demodulador conocer la configuración del modulador, así como información acerca de la transmisión OFDM.
Canal Auxiliar (AC)	Canal que permite transmitir información adicional de control usando esquema de modulación DBPSK

Tabla 12: Descripción de Señales de Control

En la siguiente tabla se especifica, según lo estipula la normativa, la funcionalidad de cada uno de los bits (204) utilizados en la portadora TMCC:

Número de Bit	Descripción		
B_0	Referencia para la demodulación referencial		
$B_1 - B_{16}$	Sincronización alternada para cada cuadro		
	W0	0011010111101110 (c1)	
	W1	1100101000010001 (c2)	
$B_{17} - B_{19}$	Identificación del Tipo de segmento:		
	Modulación Síncrona:	000	
	Modulación Diferencial:	111	
$B_{20} - B_{21}$	Identificación del sistema de Televisión Digital Terrestre, el estándar Brasileño-Japonés se identifica con 00		
$B_{22} - B_{25}$	Identificador de los parámetros de	1111	15 cuadros antes de conmutar

	conmutación, empieza en 1111 y varia a partir de 15 cuadros:	1110	14 cuadros antes de conmutar
		1101	13 cuadros antes de conmutar
	
		0000	1 cuadro antes de conmutar
B_{26}	Alarma de emergencia de la radiodifusión:	0	Receptor no controlado
		1	Receptor controlado
B_{27}	Información de transmisión Actual (Recepción Parcial)	0	Sin recepción
		1	Con recepción
$B_{28} - B_{40}$	Información de transmisión Actual (Parámetros capa A):	3 bits para el esquema de modulación de portadora:	
		000	DQPSK
		001	QPSK
		010	16QAM
		011	64 QAM
		111	NO usada la capa
$B_{41} - B_{53}$	Información de transmisión Actual (Parámetros capa B)	3 bits para la tasa del codificador convolucional:	
		000	$\frac{1}{2}$
		001	$\frac{2}{3}$
		010	$\frac{3}{4}$
		011	$\frac{5}{6}$
		100	$\frac{7}{8}$
		111	No usa la capa
$B_{54} - B_{66}$	Información de transmisión Actual (Parámetros capa C)	3 bits para la longitud del <i>interleaving</i>	
		000	0(mod01) 0(mod02) 0(mod03)

		001	4(mod01) 2(mod02) 1(mod03)
		010	8(mod01) 4(mod02) 2(mod03)
		011	No usa la capa
		4 bits para el número del segmento	
		0001	Segmento 1
		0010	Segmento 2
		0011	Segmento 3
		0100	Segmento 4
		0101	Segmento 5
		0110	Segmento 6
		0111	Segmento 7
		1000	Segmento 8
		1001	Segmento 9
		1010	Segmento 10
		1011	Segmento 11
		1100	Segmento 12
		1101	Segmento 13
		1111	No usa capa
B_{67}	Información de transmisión Siguiete (Recepción Parcial):	0	Sin recepción
		1	Con recepción
$B_{68} - B_{80}$	Información de transmisión Siguiete (Parámetros capa A):	3 bits para el esquema de modulación de portadora:	
		000	DQPSK
		001	QPSK
		010	16QAM
		011	64 QAM
		111	NO usada la capa

$B_{81} - B_{93}$	Información de transmisión siguiente (Parámetros capa B)	3 bits para la tasa del codificador convolucional:		
		000	1/2	
		001	2/3	
		010	3/4	
		011	5/6	
		100	7/8	
		111	No usa la capa	
$B_{94} - B_{106}$	Información de transmisión siguiente (Parámetros capa C)	3 bits para la longitud del <i>interleaving</i>		
		000	0(mod01) 0(mod02) 0(mod03)	
			001	4(mod01) 2(mod02) 1(mod03)
				010
		011		
		4 bits para el numero del segmento		
		0001	Segmento 1	
		0010	Segmento 2	
		0011	Segmento 3	
		0100	Segmento 4	
		0101	Segmento 5	
		0110	Segmento 6	
		0111	Segmento 7	
		1000	Segmento 8	
		1001	Segmento 9	
		1010	Segmento 10	
		1011	Segmento 11	
1100	Segmento 12			
1101	Segmento 13			

		1111	No usa capa
$B_{107} - B_{109}$	Corrección del desvío de fase del canal		
$B_{110} - B_{121}$	Reservado		

Tabla 13: Descripción de Bits [7]

** Para mejor explicación de los valores de la longitud del interleaving correspondientes a cada modo, se puede encontrar en Tabla 9 de [4]

En relación al ancho de banda del canal de transmisión, se debe utilizar 5,7MHz con el objetivo de contener el 99% de la energía entre la primera portadora del límite inferior y la última del límite superior, considerando que el ancho de banda utilizado por la portadora no sobrepasa los 5,572MHz.

La señal de Televisión Digital Terrestre, deberá estar desplazada 1/7 hacia la derecha en relación a la frecuencia central de la señal, según lo estipula la normativa y se refleja en la Figura 3.16.

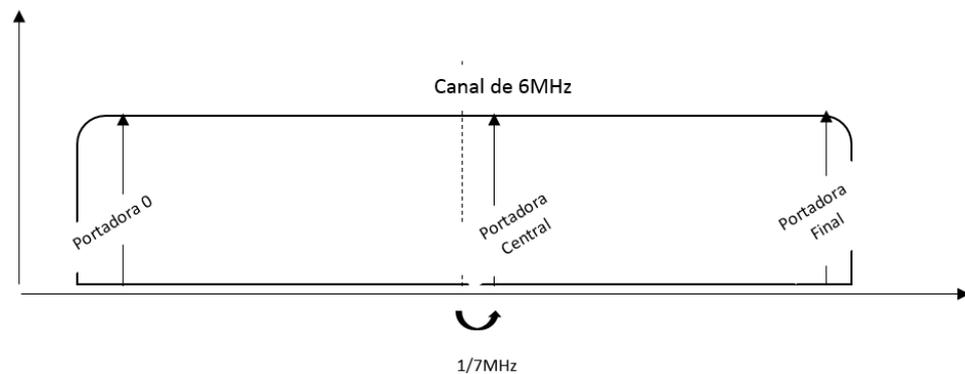


Figura 3. 16 Distribución de portadoras en el Canal de 6 MHz

3.2 Red de Frecuencia Única ISDB-Tb

Una de las características principales que ofrece la Televisión Digital Terrestre, a diferencia de la televisión analógica, es la de poder operar con una red compuesta por un transmisor principal y retransmisores dispersos por un área geográficamente pequeña o urbana, de tal manera que cada uno de ellos pueda transmitir la señal en una única frecuencia de operación evitando fenómenos de interferencia.

3.2.1 Definición

SFN o Red de Frecuencia Única se define como un conjunto de dispositivos transmisores encargados de propagar una misma información de forma simultánea y sincronizada utilizando el mismo canal, es decir la frecuencia que ha sido concesionada [13]. Con este modelo de red se desea cubrir un área determinada optimizando un recurso limitado como es el espectro radioeléctrico. Todo esto será posible gracias a la inserción del intervalo de guarda en la señal OFDM, el cual permitirá tratar los ecos o multitrayecto que provienen de los distintos transmisores de tal manera que se pueda reconstruir la señal en el receptor. La importancia de este parámetro es vital para la planificación de este tipo de redes debido a que delimita la distancia necesaria entre los transmisores. [14].

Matemáticamente una red SFN puede ser expresada de la siguiente manera:

$$s(t) = \sum_{i=1}^n h_i(t) \otimes x(t) + z(t) \quad (3.12)$$

Donde $h_i(t)$ representa a la respuesta al impulso del canal, $x(t)$ es la señal transmitida OFDM y $z(t)$ es el ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN) [15].

Por otro lado es importante mencionar que si los transmisores se encuentran muy distantes del receptor, puede ocasionar que se presente interferencia inter símbolo (ISI) debido al retardo en la recepción de la señal, por lo tanto es importante realizar un adecuado proceso de planificación para el despliegue de la red considerando las implicaciones técnicas que tiene la mencionada tecnología.

3.2.2 Principio Funcionamiento

La distribución actual de las frecuencias para servicios de televisión analógica o digital a nivel nacional, se realiza en base a un modelo de red MFN (Multiple Frequency Network), es decir que se asigna una frecuencia diferente a cada transmisor considerando que se encuentren ubicados geográficamente adyacentes entre sí; en este tipo de redes la importancia radica en mantener la distancia suficiente entre dichos transmisores de tal

manera que se pueda disminuir la posibilidad de interferencia cocanal tal como se indica en la figura 3.17.

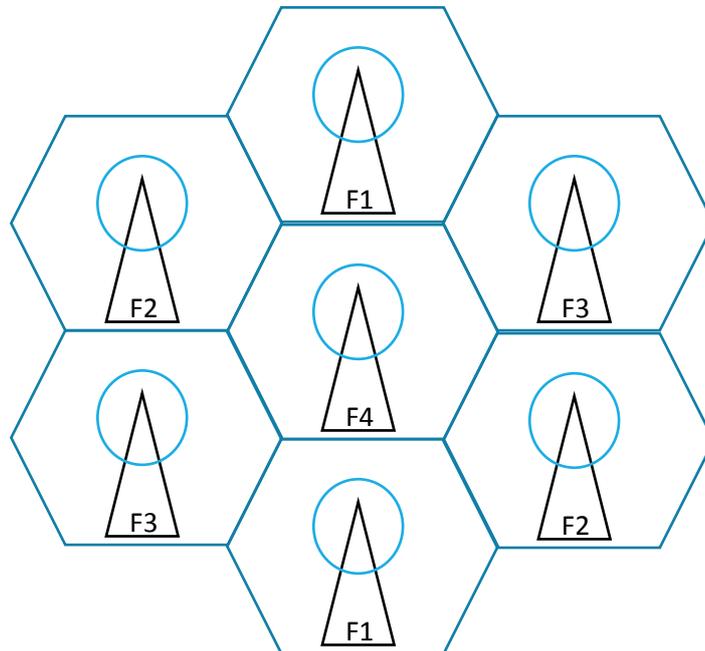


Figura 3. 17 Distribución de frecuencia en una red MFN

Este tipo de redes son consideradas como ineficientes espectralmente en comparación a las redes SFN por su utilización de varias frecuencias, pero por otro lado permite realizar la emisión de contenido televisivo local [16].

Escenarios de Implementación

Considerando la oportunidad de ampliar la cobertura de los sistemas de televisión digital terrestre utilizando un mismo canal de transmisión, es ideal pensar en escenarios, para la implementación de estas redes, como ciudades o metrópolis con geografía irregular donde se determine la existencia de numerosas zonas de sombra.

Según el Grupo de Experto DiBEG la mayor cantidad de países de Sur América y Japón han adoptado el sistema de transmisión ISDB-T, tal como se observa en la figura 3.18, en Brasil, por ejemplo, es un país donde existen aproximadamente 1052 canales concesionados, con estadísticas de julio del 2012 [17], alrededor del país, por lo cual han considerado que el Implementar redes MFN compuestas de redes SFN

permite optimizar el uso de frecuencias mejorando la cobertura en las zonas con geografía irregular y al mismo tiempo optimizando el uso de potencia en los transmisores. En países como Perú y Colombia se han realizado estudios para la implementación de redes SFN en ciudades como Lima y Bogotá respectivamente, con el mismo objetivo: mejorar cobertura con eficiencia espectral.

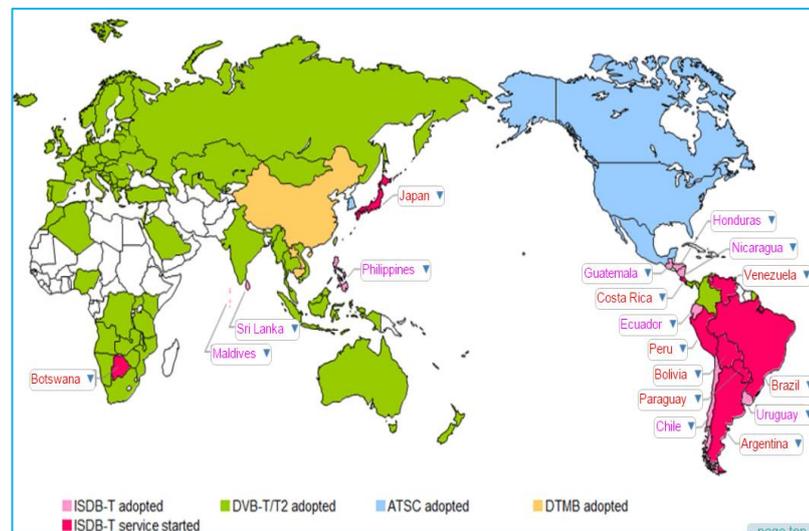


Figura 3. 18 Países que han adoptado el estándar ISDB-T [21]

En nuestro país, considerando la experiencia de la televisión analógica, desde el punto de vista de propagación, y posterior a las pruebas de cobertura realizadas por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones en el mes de octubre del 2014 en las ciudades de Guayaquil y Quito, se vuelve imperioso verificar la factibilidad del despliegue de las redes SFN, debido a que existen un alto número de población que se ve afectada por las zonas de sombras, y al hacer uso de dichas redes se mejora la cobertura optimizando el uso de frecuencias.

Según la experiencia presentada por estudios realizados en las ciudades antes mencionadas y considerando las pruebas nacionales, se puede indicar que los escenarios donde se convierte en una verdadera necesidad la implementación de las redes SFN, son aquellos en donde se presente una geografía irregular con cerros de considerable altura o valles pronunciado así como edificaciones que se convierten en obstáculos a la propagación de la señal y por ende la degradación de la misma; por lo tanto hacer uso de estas redes mejoraran

considerablemente la calidad del servicio de televisión abierta. Los lugares propicios para la instalación de los retransmisores deberán ser puntos lo suficientemente altos y estratégicamente ubicados de tal manera que puedan cubrir una determinada zona afecta o zona de sombra, este tipo de decisiones se tomaran luego de un estudio técnico de campo.

Modelo del canal de Propagación

El canal de propagación inalámbrico que se utiliza para la transmisión de la señal de TDT puede ser modelado tal como se indica en la sección 3.3.1, lo cual indica que una red SFN es susceptible a 2 tipos de retrasos:

- *Retraso por reflexión de obstáculos*, dichos obstáculos permiten modelar el canal de transmisión considerando el desvanecimiento lento.
- *Retraso por señales de transmisores diferentes*, dichas señales son consideradas para modelar el canal generando un desvanecimiento rápido.

Dichos retardos a su vez convergen en la aparición de interferencia intersimbólica, que será explicada en la siguiente sección, que puede ser tratada con el intervalo de guarda o estimación del canal [15].

Según menciona Paucar, Fernández y Kemper en su estudio de métodos y modelos matemáticos “El medio de propagación inalámbrico es generalmente modelada por dos efectos. Un efecto de gran escala y otro de pequeña escala. El componente de gran escala involucra trabajar con potencias promedio relativas a distancias grandes respecto a la longitud de onda de la señal, mientras que los efectos de pequeña escala involucran pequeñas variaciones en distancias del orden de la longitud de onda.” [19, p. 3].

Para determinar la potencia promedio detectada en el receptor, se puede hacer uso de un modelo de propagación compuesto por un componente aleatorio con una distribución logarítmica normal con el desvanecimiento lento representado por ε en la siguiente representación matemática:

$$P_{Rx} = \frac{P_{Tx}(G_{Tx}G_{Rx})}{L_{T-R}} 10^{\frac{\epsilon}{10}} \quad (3.13)$$

Donde P_{Tx} es la potencia del transmisor y G_{Tx} y G_{Rx} la ganancia del Transmisor y Receptor respectivamente, L_{T-R} corresponde a la pérdida que se presenta entre la trayectoria desde el transmisor al receptor:

Interferencias

Se puede considerar una interferencia como el solapamiento entre dos o más emisiones de distinto origen, ocasionando que la señal original no pueda ser recuperada en el transmisor [14].

El medio radioeléctrico utilizado como canal de propagación por los sistemas de televisión, es considerado como uno de los medios más susceptibles a estas situaciones, debido a que el aire puede ser perturbado por señales externas. A pesar que existe la debida sectorización de bandas para el servicio de TDT, es ineludible convivir con distintos tipos de interferencias, cada una de ellas causadas por algún determinado comportamiento de una señal o por un mal funcionamiento de los equipos transmisores, tales como:

- **Interferencia Cocanal:** Esta interferencia se produce cuando se presenta una señal considerada como “no autorizada” con un nivel de potencia o intensidad de campo superior a la señal deseada, degradando paulatinamente o de forma abrupta dicho canal. Esta situación suele presentarse cuando se reutilizan las frecuencias a partir de cierta distancia proyectada por un estudio de propagación (redes MFN). En nuestro país esta situación sucede en las señales analógicas de forma muy concurrente, por ejemplo entre las provincias de Guayas, El Oro, Santa Elena, Azuay y Los Ríos.

Para evitar este tipo de interferencia, según se estipulado en la “Normativa Técnica para el Servicio de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre” expedida por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones mediante resolución ARCOTEL-2015-0301, se plantea una relación señal

deseada/señal no deseada que permita proteger la señal debidamente concesionada según la siguiente tabla:

Señal Deseada	Señal Interferente	Relación de protección (dB)		
		Canal Inferior (N-1)	Cocanal	Canal Superior (N+1)
NTSC	ISDB-Tb	-11	34	-11
ISDB-Tb	NTSC	-26	7	-26
ISDB-Tb	ISDB-Tb	-24	19	-24

Tabla 14: Relación de Protección Señal [23]

- **Interferencia de canal adyacente:** Es cuando una señal contigua a la señal deseada presenta lóbulos laterales que interfieren o se extienden sobre la señal concesionada, dicho efecto es muy común en equipos con poco mantenimiento o analógicos. Considerando que este tipo de interferencia puede presentarse por la presencia de algún canal de televisión analógico adyacente a un canal de TDT, es importante mencionar que la “Normativa Técnica para el Servicio de Televisión Analógica” emitida con resolución ARCOTEL-2015 indica:

Interferencia	Relación señal deseada/señal interferente
Del canal inferior	-6 dB
Del canal superior	-12dB

Tabla 15: Relación de Protección Señal deseada/señal no deseada, canal adyacente [23]

Otro tipo de interferencia puede ocurrir por perturbaciones que se presentan causadas por sistemas de transmisión distintos a los de televisión, generando señales denominadas espurias que afectan la frecuencia de transmisión. El efecto de este tipo de interferencia en TDT,

se observa con el aumento de la tasa de bits erróneos y en el peor de los casos la pérdida total de la imagen, fig. 3.19.

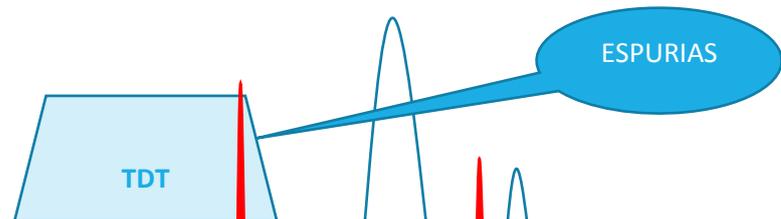


Figura 3. 19 Interferencias causadas por espurias en TDT [17]

Por otro lado cuando hablamos de interferencias auto inducidas por los equipos que componen las de redes SFN, el tema aun es más complejo, debido a que el simple hecho de tener distintos transmisores emitiendo una misma programación sincronizada mente ocasiona que el receptor detecte señales que puedan ser consideradas como interferencias constructivas o destructiva dependiendo del intervalo de retardo con la que se la perciba.

El retardo “natural” es generalmente limitado a 20-30 μ s correspondiente a una variación en la propagación de la señal de hasta 10Km, considerando que la duración de un símbolo OFDM tienen tiempos más largos que los retardos antes mencionados, por lo cual podrían ser considerados como despreciables [16]. Es importante mencionar que si la geografía del terreno es considerablemente montañosa, de tal manera que superen los retardos antes mencionados, hay que incluir dichos tiempos en la planificación de la red. Cuando se detecta, en un punto determinado, que existen una o varias señales que propagan el mismo servicio pero con retardos superiores a los del intervalo de guarda, se puede considerar como una interferencia destructiva.

Para evitar este tipo de interferencia destructiva, es importante realizar un correcto y cuidadoso cálculo del intervalo de guarda a utilizar en el sistema, calculo que dependerá de la distancia que exista entre los transmisores y permitirá dar inmunidad a frente a los retardos ocasionados por las señales en el receptor. Matemáticamente dicho cálculo puede expresarse:

$$\Delta_{IG} = \frac{c}{d_{maxTx}} \quad (3.14)$$

Donde Δ_{IG} es el intervalo de tiempo en μs , c es la velocidad de la luz y d_{maxTx} es la distancia máxima entre transmisores.

Es importante considerar que mientras más largo sea el periodo del intervalo de guarda, por ejemplo $\frac{1}{4}$ que equivale a $63\mu s$ en modo 1 [4], se permitirá tolerar ecos más distantes, pero se reduce considerablemente la eficiencia del canal de transmisión; de lo contrario si el periodo del intervalo de guarda es menor, por ejemplo $\frac{1}{32}$ que equivale a $7,875\mu s$ en modo 1 [4], existe menos inmunidad frente a los ecos, pero una velocidad de transferencia de datos mayor.

Es importante aclarar que el intervalo de guarda trabaja en el dominio del tiempo, y no es lo mismo que la banda de guarda que se representa en el dominio de la frecuencia [22]. El intervalo de guarda es insertado antes de cada símbolo para la debida protección de la interferencia inter-símbolo de la siguiente manera:

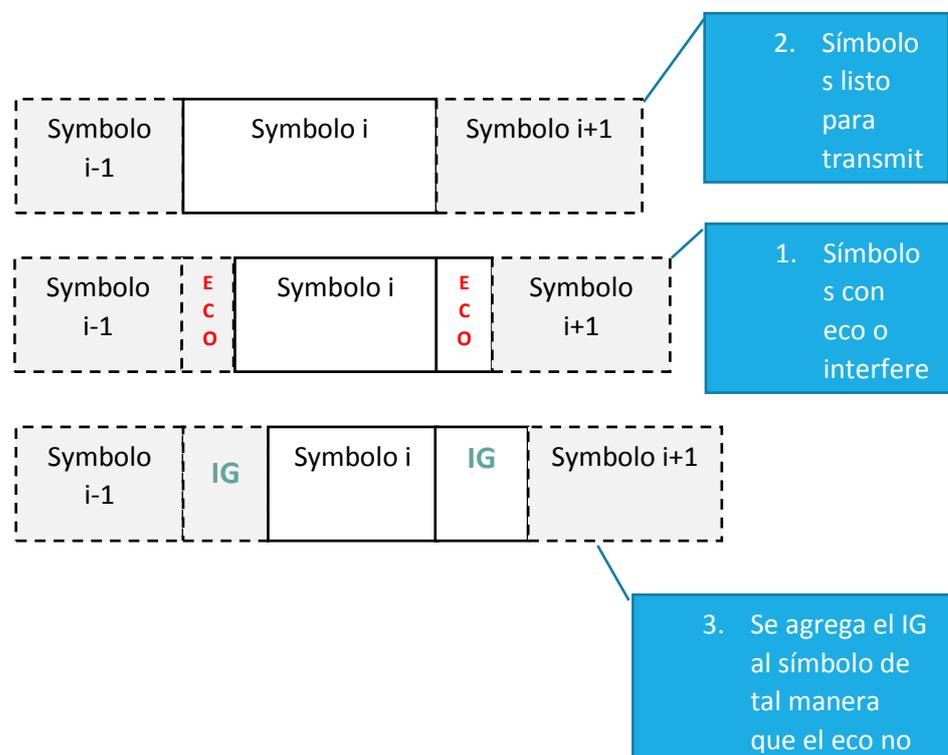


Figura 3. 20 Distribución del intervalo de guarda dentro del símbolo de transmisión [24]

Para este tipo de interferencias, el receptor es un factor clave debido a que es el responsable de determinar que eco lo considerara como inicial

o referencia. Para esta decisión deberá considerar los siguientes criterios [14]:

- Análisis del retardo que tienen las señales interferentes, en relación con el eco inicial o referente.
- Determinar el transmisor que genera la señal inicial o de referencia.

Ya hemos visto que las interferencias pueden ocurrir por diferentes tipos de situaciones, y que dicho efecto es altamente perjudicial para la recuperación de la señal original, por lo tanto es de vital importancia reducir las interferencias que se presenten en las zonas de servicio, para ello se puede emplear varias técnicas de reducción, tales como:

- Introducción de un retardo de tiempo en los transmisores.
- Aumento o reducción de potencia.
- Modificación del sistema radiante.
- Cambiar la polarización de las antenas.

Estas técnicas se explicaran más adelante.

3.2.3 Componentes Básicos de una SFN

Uso del Espectro

El artículo 314 de la Constitución de la Republica, dispone que: “El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención, y eficiencia. Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política y ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social. Se considera sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, **el espectro radioeléctrico**, el agua, y los demás que determine la ley.” [23].

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, fue designada como la entidad encargada de administrar y regular el espectro radioeléctrico, según lo decretado el 18 de febrero del 2015 en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, por lo tanto aprueba la “Norma Técnica de Televisión Digital Terrestre”. En dicha norma se determina que la banda de frecuencia asignada para la operación de sistemas de Televisión Digital Terrestre en el Ecuador es:

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

Tabla 16: Bandas de Frecuencias Principales establecidas para TDT en el Ecuador [23]

Dichas frecuencias podrán ser configuradas en los sistemas transmisores de TDT previo a la concesión de una determinada frecuencia, dicha concesión será estrictamente realizada por ARCOTEL. Cada canal físico para la transmisión de TDT, situación similar para la televisión analógica, en el Ecuador tiene un ancho de banda de 6MHz, es decir cada una de las frecuencias principales legalmente concesionadas. La frecuencia central de la portadora deberá estar desplazada (off-set) 142,857KHz con relación a la frecuencia central, de acuerdo a la siguiente canalización [20]:

Canales UHF (TDT)			
No. De Canal	Frecuencia Inicial (MHz)	Frecuencia Final (MHz)	Frecuencia Central (MHz)
14	470	476	473,1428571
15	476	482	479,1428571
21	512	518	515,1428571
22	518	524	521,1428571
23	524	530	527,1428571
24	530	536	533,1428571
25	536	542	539,1428571
26	542	548	545,1428571
27	548	554	551,1428571
28	554	560	557,1428571
29	560	566	563,1428571
30	566	572	569,1428571
31	572	578	575,1428571
32	578	584	581,1428571
33	584	590	587,1428571
34	590	596	593,1428571
35	596	602	599,1428571
36	602	608	605,1428571
37	608	614	611,1428571
38	614	620	617,1428571
39	620	626	623,1428571
40	626	632	629,1428571
41	632	638	635,1428571
42	638	644	641,1428571
43	644	650	647,1428571
44	650	656	653,1428571
45	656	662	659,1428571
46	662	668	665,1428571
47	668	674	671,1428571
48	674	680	677,1428571
49	680	686	683,1428571

50	686	692	689,1428571
51	692	698	695,1428571

Tabla 17: Canalización de Bandas para servicio de TDT [23]

Este desfase aplicado a la frecuencia central (1/7 MHz) se realiza para evitar que la portadora de audio de un canal de televisión analógico ubicado en la parte inferior pueda causar interferencia al inicio de las portadoras del canal digital.

A continuación se puede observar la potencia concesionada para los canales de televisión de la ciudad de Guayaquil:

ESTACION DE TELEVISION (TDT)	FRECUENCIA CONCESIONADA * (Mhz)	CANAL TEMPORAL
Teleamazonas Guayaquil	551	27
Red Telesistema (RTS)	539	25
Corporación Ecuatoriana de Televisión	527	23
Canal Uno	587	33
TC Televisión	563	29
Televisión Satelital	623	39
UCSG	659	45
GAMA Tv	671	47
* Se hace referencia a la frecuencia central sin considerar el <i>off-set</i>		

Tabla 18: Concesión temporal de canales TDT para operación en la ciudad de Guayaquil [23]

Es importante mencionar que existe Frecuencias Auxiliares que permiten realizar la conectividad entre la estación, donde se genera el contenido, y el transmisor o repetidora; entre los estudios secundarios y principales, dicha banda de frecuencia se encuentran atribuidas en el Plan Nacional de Frecuencias.

Para transmitir una señal de televisión terrestre se debe de tener un canal bastante robusto e inmune a interferencias, por ello se considera utilizar una banda UHF (ultra high frequency) que es menos susceptible a interferencias producidas por otros dispositivos electrónicos

Uso de la Potencia

El uso de la potencia por cada transmisor principal de una estación de televisión difiere según la zona geográfica de concesión, por ende los transmisores deberán ser configurados con parámetros técnicos según el estudio de propagación realizado previo a la concesión de dicha frecuencia.

Para analizar dichos valores se debe de considerar distintos conceptos de transmisión de potencia, tales como:

PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva): Es el producto obtenido de la potencia que se suministra a la antena por su ganancia G_i , considerando una antena isotrópica [24], es decir equivale a la potencia que se necesitara inyectar a la entrada de dicha antena para obtener un mismo valor de densidad de potencia a una distancia considerada, radialmente hablando. Para el cálculo de dicha potencia, se puede expresar matemáticamente:

$$P.I.R.E = P_{Tx} * G_i \quad (3. 15)$$

Por lo tanto si se desea determinar la densidad de potencia, es decir la cantidad de potencia propagada en un área determinada, será igual a:

$$dP = \frac{(P_{Tx} * G_i)}{4\pi d^2} \quad (3. 16)$$

Donde dP será la distancia de la antena receptora en relación al transmisor. Cabe mencionar, y teniendo en cuenta que una antena por sí sola no puede realizar el incremento de la potencia, que la ganancia la antena se presenta por direccionar la energía de la antena focalizando la señal hacia una dirección determinada.

Por otro lado, el receptor podrá detectar la señal en función de la siguiente ecuación:

$$P_{Rx} = G_T * \left(\frac{P_T}{4\pi d^2} \right) * A_{efectiva} \quad (3. 17)$$

Donde $A_{efectiva}$ es el Área efectiva, la cual depende del tipo de antena y la ganancia de la misma, puede ser expresada en términos de la Ganancia en la recepción:

$$G_{Rx} = \left(\frac{4 \pi A_{efectiva}}{\lambda^2} \right) \quad (3. 18)$$

Donde λ^2 representa la longitud de onda de la señal recibida.

En caso de utilizar una antena directiva en el transmisor se considerara la Ganancia de dicho transmisor y las correspondientes pérdidas:

$$PIRE (dBW) = P_{Tx} - (L_c + L_s) + G_{Tx} \quad (3. 19)$$

Donde $(L_c + L_s)$ representa a la suma de las pérdidas que se producen en los cables y en el espacio libre

PER (Potencia Efectiva Radiada): Es la potencia necesaria para garantizar el nivel de intensidad de campo establecido en la normativa técnica, de tal manera que se pueda considerar como señales validas a aquellas que se recepen con valores superiores a los autorizados. Matemáticamente se puede expresar como [20]:

$$PER(KW) = P_T (kW) * 10^{\frac{G_T(dBi) - \sum Perdidias (dB)}{10}} \quad (3. 20)$$

Donde P_T es la potencia después de los filtros y $\sum Perdidias (dB)$ será la suma de las pérdidas que se presenten en los conectores, cables, etc.

Cuando se emite una concesión de frecuencia, en el Anexo técnico se estipula dos tipos de potencia, la potencia configurada directamente en el equipo y la potencia calculada o PER. Según las mediciones de pruebas realizadas en la ciudad de Guayaquil, se consideró realizar transmisiones con 500W, 1000W y 1500W como potencia configurada directamente en los transmisores.

Para considerar una recepción ideal de la señal, la normativa ecuatoriana indica que se deberá de considerar el parámetro de intensidad de campo expresado en dB μ V/m, dicho parámetro será de 51dB μ V/m en el borde del área de cobertura

A lo largo del presente proyecto se ha indicado algunas de las ventajas que presentan las redes SFN, y el uso de la potencia es uno de ellos. El tener otros dispositivos transmisores aparte del principal desplegados por la red, permite reducir considerablemente la potencia del transmisor principal mejorando la zona de cobertura de dicha red, y a su vez reducir la potencia de transmisor equivale a reducir gastos en consumo de energía del mencionado transmisor.

Por otro lado reducir la potencia del transmisor permite disminuir la probabilidad de interferencias (sección 3.3.2.3) y a su vez reducir el piso de ruido de la zona, condiciones importantes para la convivencia armónica de sistemas de radiocomunicación.

Sincronización

Debido a que el sistema trabajara con un transmisor principal, que emite una misma señal para los repetidores en la misma frecuencia, y conociendo la posibilidad de que dicho tipo de transmisión es susceptible a “*auto-interferencias*” causadas por la naturaleza de la misma, es de vital importancia introducir los conceptos de sincronización en el presente desarrollo, así como los tipos de sincronización que se puedan presentar en una planificación de red SFN. Existe la posibilidad que una red pueda operar inicialmente sin sincronismo, siempre y cuando la naturaleza de la red permita recibir distintas señales por debajo del nivel de relación señal directa/interferencia [15].

A medida que la red aumenta el número de dispositivos transmisores se mejorará considerablemente la cobertura de la misma, es decir convierte una red más homogénea, lo cual a su vez mejora la recepción de la señal móvil. Esta mejora, que va de la mano con la diversidad espacial, necesariamente implica considerar el sincronismo de la red como parte fundamental del estudio.

Sincronización en frecuencia

Es un sincronismo que depende, en gran parte, del esquema que se utilice de modulación, es decir sea 2K (modo 1 con 1404 portadoras), 4K (modo 2 con 2808 portadoras) o 8K (modo 3 con 5616 portadoras). Según lo estipula [15] cada portadora debe ser transmitida en una frecuencia igual a $f_k \pm (\frac{f}{100})$, donde k representa a una portadora en particular y f_k la posición de dicha portadora en relación a la frecuencia.

Sincronización el tiempo

La sincronización en tiempo es independiente en relacionado con el intervalo de guarda de los transmisores, es un beneficio que brinda la modulación COFDM, consiste en transmitir el símbolo de cada transmisor en el mismo instante de tiempo. En el mismo estudio se considera mantener un intervalo de tiempo de $T_n \pm 1\mu s$, donde T_n es el periodo de muestreo ideal para el símbolo enésimo [15]. En este tipo de sincronismo se puede ser un poco más tolerante en términos de precisión, debido a que el intervalo de guarda.

La finalidad de implementar esta sincronía radica en que se puede compensar una mala sincronización de la red, utilizando una señal de referencia temporal o 1pps.

Sincronización de bit

Es necesario que exista una portadora k-esima modulada conjuntamente con los bits en cada uno de los dispositivos transmisores de la red, con el objetivo que se pueda generar el mismo símbolo en un mismo instante de tiempo de dicha red. [25]

Sincronización de la red

Una de las estrategias utilizadas para lograr la sincronización en las redes SFN consiste en dividir el flujo de segmentos que se van a transmitir en múltiples tramas llamadas MF (Multiplex Frame), dichas tramas se etiquetan en el encabezado dentro del paquete MPEG-TS para que puedan ser

identificadas por cada transmisor de la red y sepan exactamente cuándo empezar la transmisión (lograr la sincronización).

La información de sincronización que se encuentra en los datos que se transmiten en una red SFN es:

- Señal de GPS = 10MHz
- Marca del tiempo de sincronización (es el número de conteos de 100nseg que se debe de esperar hasta que comience el siguiente MF)
- TTL = 1pps
- Retardo máximo de red (intervalo de tiempo que transcurre desde que sale un paquete del transmisor hasta el retransmisor más lejano de la red).

Esta información se introduce dentro de un paquete MIP (paquete de inicialización de mega trama) gracias a los adaptadores de SFN y su función principal es indicar a cada estación el tiempo exacto de la transmisión del siguiente MF sincrónicamente. Por otro lado, en el transmisor principal utiliza un conteo de 100nseg en el momento en que se presenta el pulso TTL o 1pps.

Usando la información mencionada del paquete anterior, la red SFN conoce el momento exacto en que se transmite el MF desde el transmisor principal, en dicho tiempo, inmediatamente la sincronización inicializa el contador que durara hasta el retardo máximo de la red. Si un MF llega a un transmisor y aun no se desborde el contador antes mencionado, mantendrá esos paquetes en cola para poder transmitirlo en el momento exacto que lo hagan los demás retransmisores. Gráficamente se puede explicar de la siguiente manera el funcionamiento descrito:

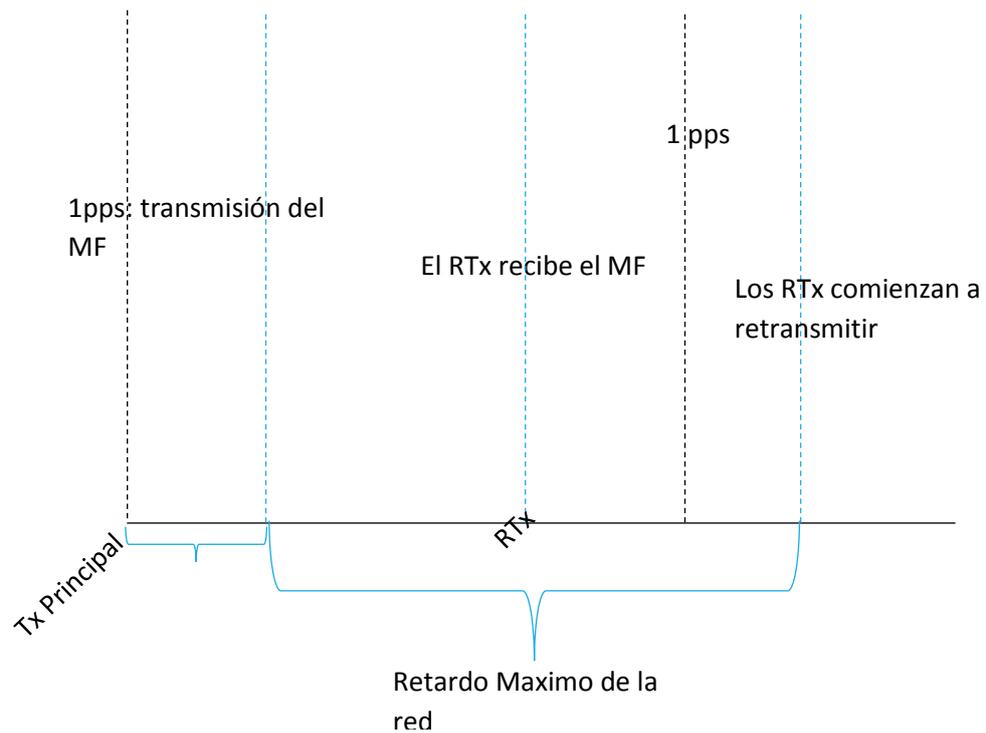


Figura 3. 21: Proceso de sincronización de una red SFN [27]

3.2.4 Tipos de Redes de Frecuencia Única

Distribuida

Una red distribuida es aquella que opera con una misma frecuencia en todos los transmisores de una determinada región o provincia (considerando el despliegue en el Ecuador), por dichas frecuencia se transmite una única información que viajara por toda la red, es decir información exactamente igual bit a bit [13]; en los retransmisores detectaran la señal BTS (Broadcast Transport Stream) con un retardo de tiempo que puede ser solucionado con una adecuada configuración, tal como se indica en la sección 3.3.3.3 de sincronismo. Cabe mencionar que el uso de sincronismo es vital en estas redes, ya que la transmisión que haga cada una de las estaciones repetidoras deberá de ser de forma simultánea.

Es necesario considerar un medio adecuado para la transmisión de la información desde el lugar en donde se genera la información hacia cada uno de los retransmisores, dicho medio puede ser Microondas, Enlaces Satelitales o Fibra óptica. Esta necesidad "extra" para transmitir las BTS puede ser considerado como una desventaja desde el punto de vista de costos de implementación.

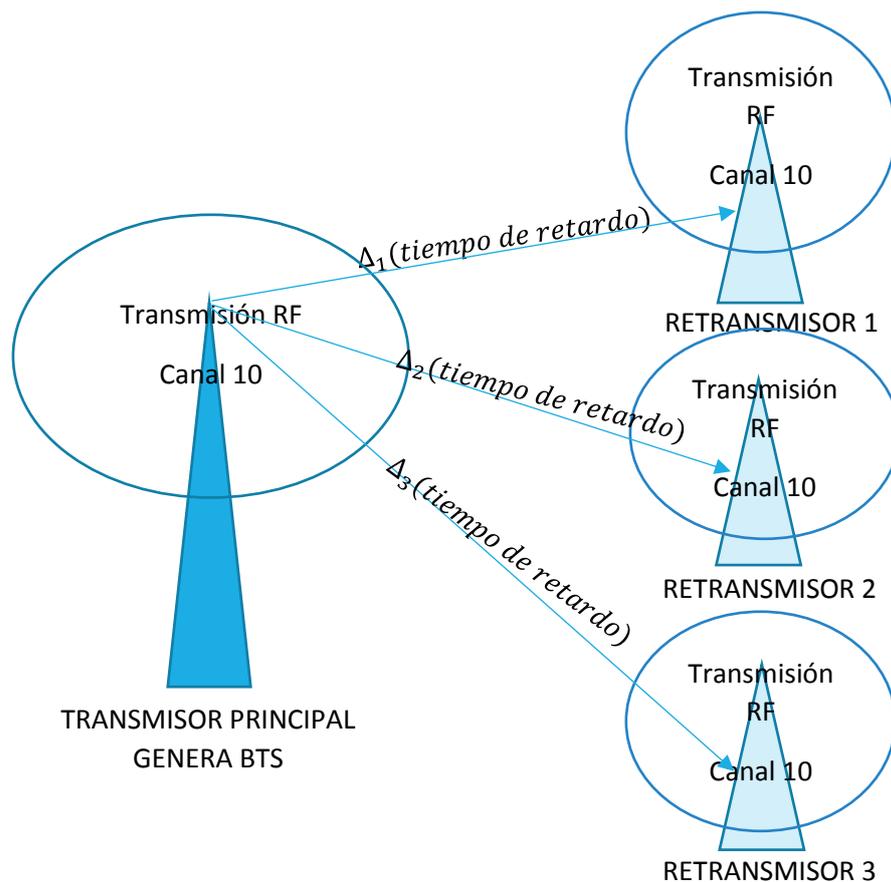


Figura 3. 22 Transmisión entre repetidores y generador de señal

De la Fig. 3.21 se puede observar que a la información Tx se le agrega un retardo dependiendo del tiempo de llegada al retransmisor, con el objetivo que puedan transmitir todos en un mismo instante.

Este tipo de redes, a su vez se las puede subdividir según el modo de operación en Dinámicas y Estáticas [13].

- Aquellas redes que trabajan en **Modo Dinámico**, pueden referenciar el sincronismo de todos los retransmisores y transmisores de forma dinámica, es decir calcula el retardo para cada uno de ellos, lo cual a su vez conlleva a tener una red altamente escalable. Para realizar este cálculo de retardo, se considera la sumatoria del retardo que causa el medio de transmisión o canal (dicho atraso es calculado por el transmisor en base a la señal de 1pps) y el retardo que toma el procesar la información desde que entra a la BTS hasta la salida del símbolo OFDM. El valor calculado, será considerado como el atraso máximo o MAX_DELAY

- Por otro lado se tiene las redes que trabajan en Modo Estático, la gran ventaja a diferencia de la anterior, es que no necesita una señal de referencia de 1pps, por lo contrario, se calcula inicialmente un retardo máximo (TIME_OFFSET) en base a todos los retardos que existan entre el transmisor y los retransmisores. La gran desventaja que tiene este tipo de redes, es que es poco escalable, debido a que cada que se agregue una nueva estación de retransmisión, es necesario hacer un nuevo cálculo de TIME_OFFSET.

La gran ventaja que tienen estas redes frente a aquellas redes que describiremos más adelante, es que cada dispositivo retransmisor de la red podrá trabajar de manera independiente en el caso de que el transmisor principal deje de funcionar.

Repetición

Una red SFN de repetición es aquella que se caracteriza porque la comunicación bit a bit desde el transmisor principal con cada uno de los retransmisores que estén desplegados, se realiza utilizando la misma señal RF que emite el transmisor principal. Estas redes permitirán cubrir las zonas donde no haya cobertura y mejorar la recepción del servicio de televisión digital móvil. [13]

Los dispositivos que se suelen utilizar para esta tipología de red son los denominados *Gap Filler*, estos equipos son alimentados por la señal que reciben del transmisor principal sin la necesidad de tener un canal especial como la fibra óptica, enlaces microondas o satelitales. El gran inconveniente que se presenta cuando se trabaja con estos equipos, es que la señal que se recibe del transmisor puede causar interferencia a la señal que retransmitirá el *Gap Filler*; para evitar este inconveniente los dispositivos utilizan un cancelador de eco.

La activación o no del Cancelador de Eco es una alternativa configurable de los *Gap Filler*, por ende si existe un aislamiento aceptable entre las antenas de transmisión y recepción, esta opción puede ser desactivada, de tal manera que permita reducir el procesamiento de los equipos.

La gran ventaja de estas redes en comparación a redes Distribuidas, es que no necesita de enlaces o canales extra para llevar la información desde el transmisor principal hasta los retransmisores. En cambio, como desventaja podemos mencionar la dependencia que los *Gap Fillers* tienen del transmisor principal, debido a que si esta falla, se degradara la relación señal/ruido.

3.3 Experiencias de países donde se utilice el estándar ISDB-Tb

ISDB-Tb es un estándar que ha tenido una gran cabida en Latinoamérica y Japón (fig. 3.23), por lo cual en el presente proyecto se van a considerar los casos más resonantes y complejos desplegados en los ya mencionados países.



Figura 3. 23 Adopción del estándar ISDB-Tb en Latinoamérica

3.3.1 Brasil

La mayor parte de proyectos, técnicamente bien detallados, de despliegue de redes para TDT se han desarrollado en Brasil, por lo tanto vamos a citar alguno de los más notables ejemplos:

Campinas

Para este caso se ha tomado como ejemplo el canal 13 en VHF, en el mencionado estudio concluyen que para lograr obtener la intensidad de

campo mínima de 50dB μ V/m necesitan ubicar dos estaciones retransmisoras (SFN) y un transmisor principal con las siguientes características técnicas:

- PER (transmisor principal): 2KW
- PER (cada una de las repetidoras SFN): 1KW
- Altura de cada torre: 80m
- Modulación = 64QAM y FEC = $\frac{3}{4}$

Según lo mencionado en el proceso de investigación, indican que al utilizar esta arquitectura de red y las configuraciones previamente establecidas, se lograra tener una cobertura similar a una red MFN, con la diferencia que se realiza un significativo ahorro de frecuencia optimizando la distribución de las mismas y disminuyendo los costos que conlleve el desarrollo de dichas redes [15].

Paranavi

En el presente estudio realizado para un canal de televisión de la región en 42 UHF, decidieron la colocación de *Gap Filler*, aparte del transmisor principal, para poder ampliar la cobertura hacia la población de Curitiba. Para ello llegaron a la conclusión de realizar la configuración de los siguientes parámetros:

- PER (transmisor principal): 2,3KW
- PER (*Gap Filler*): 250W

Inicialmente se manifiesta que no existía una sincronización establecida entre los dos transmisores, lo cual producía que en la frontera entre Paranavi y Curitiba las señales se produzcan auto-interferencia, por lo cual se degradaba significativamente la señal. Para solucionar dicho inconveniente, lograron sincronizar las dos señales en el lugar antes mencionado utilizando un canal de enlace entre el transmisor principal y el retransmisor, para que se produzca una interferencia constructiva, de tal manera que reciba las dos señales dentro del intervalo de guarda establecido.

Como otra opción para eliminar la interferencia destructiva, analizaron mediante estudios de propagación, la factibilidad de colocar un *Gap Filler* dentro de la ciudad de Curitiba, configurándolo con un PER de 40W y un Intervalo de guarda de 1/8, con lo que se pudo cubrir las zonas de sombras determinadas previo a mediciones realizadas en distintos puntos de la ciudad. [13]

CAPÍTULO 4

4. PRUEBAS DE MEDICIONES DE COBERTURA

4.1 Mediciones en localidades Fijas

Con el objeto de estudiar el comportamiento de la señal del canal 25 de TDT en la ciudad de Guayaquil, se procede a establecer un cronograma con las respectivas ubicaciones geográficas para las mediciones en distintos puntos dentro del perímetro urbano. Luego de un análisis consensuado y en base a la experiencia del comportamiento de las señales de Televisión analógica dentro de la ciudad, se ha establecido realizar las mediciones previamente indicadas en los siguientes puntos:

PUNTO No.	Sector	COORDENADAS GEOGRAFICAS		PARROQUIA
		LATITUD	LONGITUD	
1	Mucho Lote II	02°04'04.3" S	79°53'39.3" O	Tarqui
2	Centro-Sur	02°12'51.5" S	79°53'48.5" O	Sucre
3	Atarazana	02°10'18.3" S	79°53'09.2" O	Tarqui
4	Urdesa Central	02°10'29.7" S	79°54'14.3" O	Tarqui
5	Ceibos	02° 9'34.57"S	79°56'52.15"O	Tarqui
6	Puertas del Sol	02°11'14.64"S	79°57'39.94"O	Chongon
7	Suburbio	02°14'18.28"S	79°54'39.90"O	Febres Cordero
8	La Pradera	02°14'16.27"S	79°53'35.24"O	Ximena
9	Bellavista	02°11'10.81"S	79°54'36.68"O	Febres Cordero
10	Casuarina	02°07'9.86"S	79°57'6.68"O	Tarqui
11	IETEL	02°08'56.48"S	79°53'51.10"O	Tarqui
12	Noguchi	02°11'54.09"S	79°53'7.35"O	Olmedo
13	Centro	02°11'26.32"S	79°53'21.71"O	9 de Octubre

14	Centro – Roca	02°11'20.62"S	79°53'15.28"O	Roca
15	Centro Tarqui	02°11'18.67"S	79°53'21.12"O	Tarqui
16	Centro - Riobamba	02°11'19.23"S	79°53'6.47"O	Roca
17	Centro – Oct	02°11'23.23"S	79°52'51.00"O	9 de Octubre
18	Centro – Rocafuerte	02°11'33.20"S	79°52'53.47"O	Rocafuerte
19	Centro – Aguirre	02°11'38.11"S	79°52'52.64"O	Rocafuerte
20	Centro – Malecón	02°11'45.02"S	79°52'50.46"O	Rocafuerte
21	Centro – Este	02°12'39.61"S	79°53'09.04"O	García Moreno
22	Centro – Los Ríos	02°11'46.05"S	79°53'47.70"O	Sucre
23	Estadio Monumental	02°11'15.69"S	79°55'43.75"O	Tarqui
24	Cerro Colorado	02°04'43.82"S	79°55'54.44"O	Tarqui

Tabla 19: Puntos de mediciones fijas

A continuación se presenta las gráficas geo referenciadas de cada uno de los puntos en donde se realizaron las mediciones, así como el perfil de elevación que se presenta en el trayecto de cada punto con el transmisor.

En la figura 4.1 existe una elevación natural de 11m en el trayecto, la cual no causa degradación de la señal en el trayecto principal y se encuentra a una distancia aproximada de 12,4Km del transmisor. Sin embargo, este punto ha sido determinado como zona de sombra, lo cual se describirá con mayor detalla en las siguientes unidades.

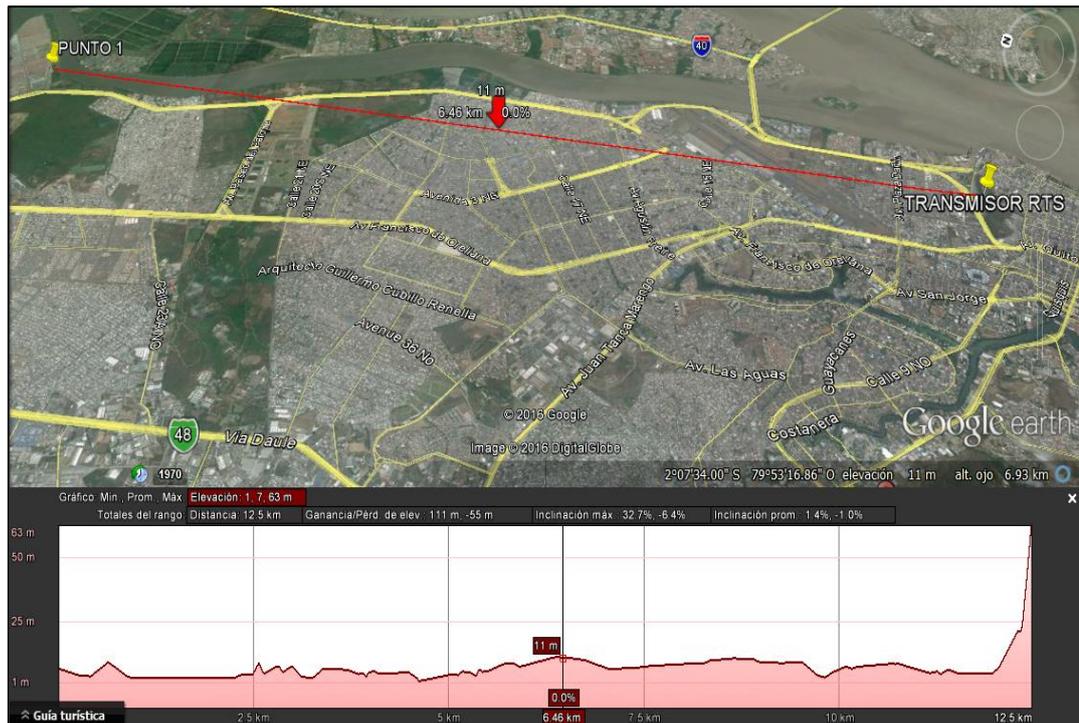


Figura 4. 1 Ubicación geográfica Punto 1 y perfil de elevación.

En la Fig. 4.2 se observa la trayectoria en donde se presentan edificios altos que no se consideran en el diagrama de elevación. Está ubicado a 4,17km del transmisor. Es importante mencionar que en el perfil de elevación se observa, adelante del transmisor, un pico de altura mayor, pero gracias a la altura que tiene la antena se puede evitar dicho pico para que no perjudique la trayectoria de la señal.

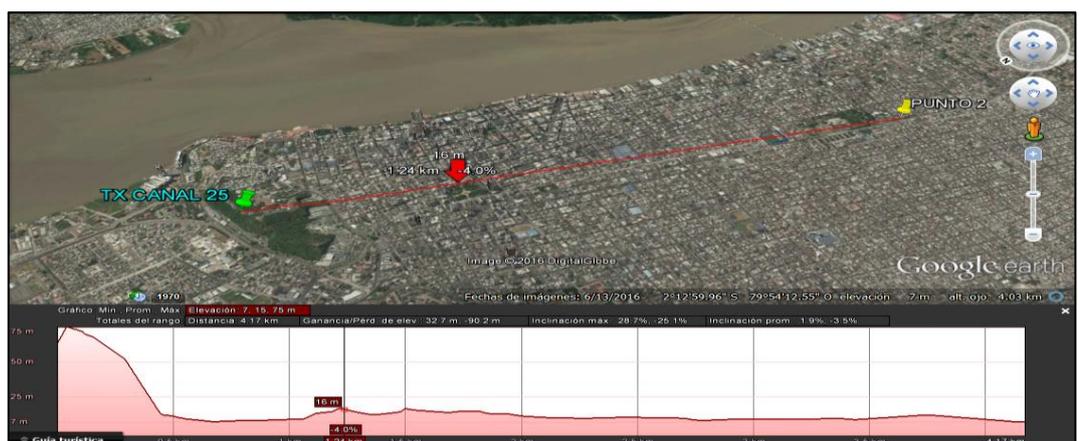


Figura 4. 2 Ubicación geográfica Punto 2 y perfil de elevación

La figura 4.3 se observa que no hay obstáculo en la trayectoria de la señal, y el receptor se encuentra a una distancia aproximada de 1Km. del transmisor.



Figura 4. 3 Ubicación geográfica Punto 3 y perfil de elevación.

La figura 4.4 se puede observar que el punto se encuentra a una distancia aproximada de 2,5Km del transmisor y no presenta elevaciones naturales en la trayectoria.

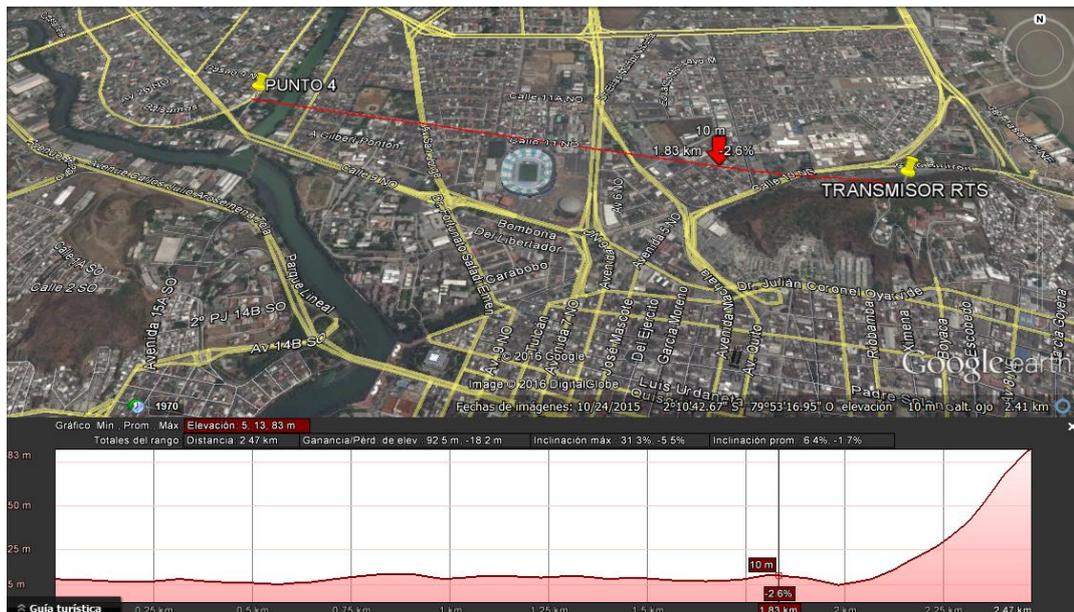


Figura 4. 4 Ubicación geográfica Punto 4 y perfil de elevación.

En la figura 4.5, en el trayecto se encuentra una elevación natural de 97mts de altura que causa una zona de sombra determinada, la cual se estudiará con mayor detalla en los siguientes capítulos. Se encuentra a 7,66Km de distancia del transmisor.

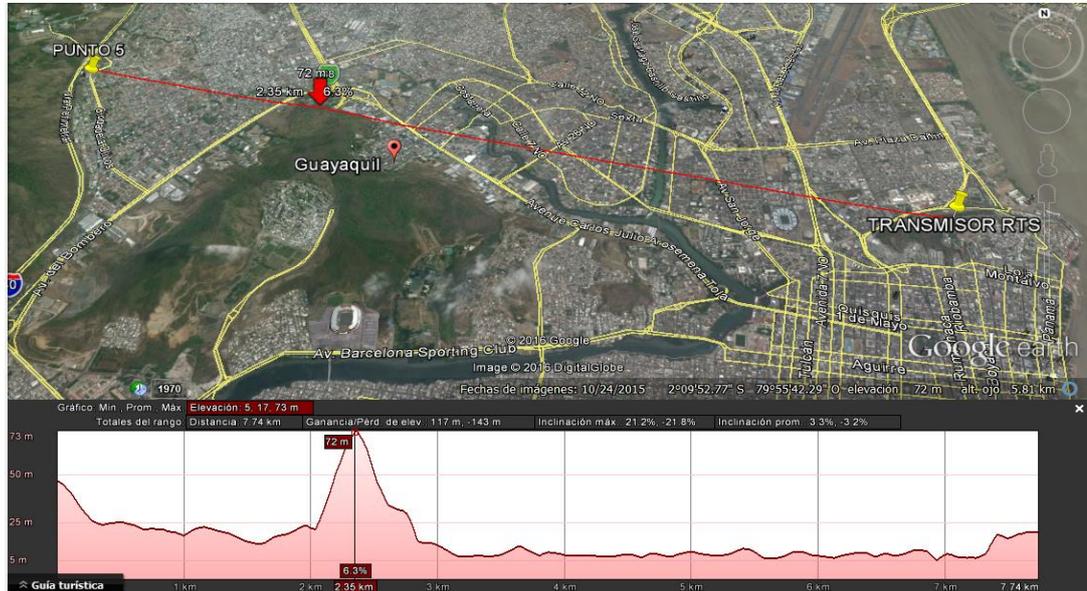


Figura 4. 5 Ubicación geográfica Punto 5 y perfil de elevación.

En la figura 4.6 se observan varias elevaciones naturales entre 80m y 120m, debido a ello, dicho punto de medición se considera como zona de sombra. Se encuentra aproximadamente a 9Km del transmisor.

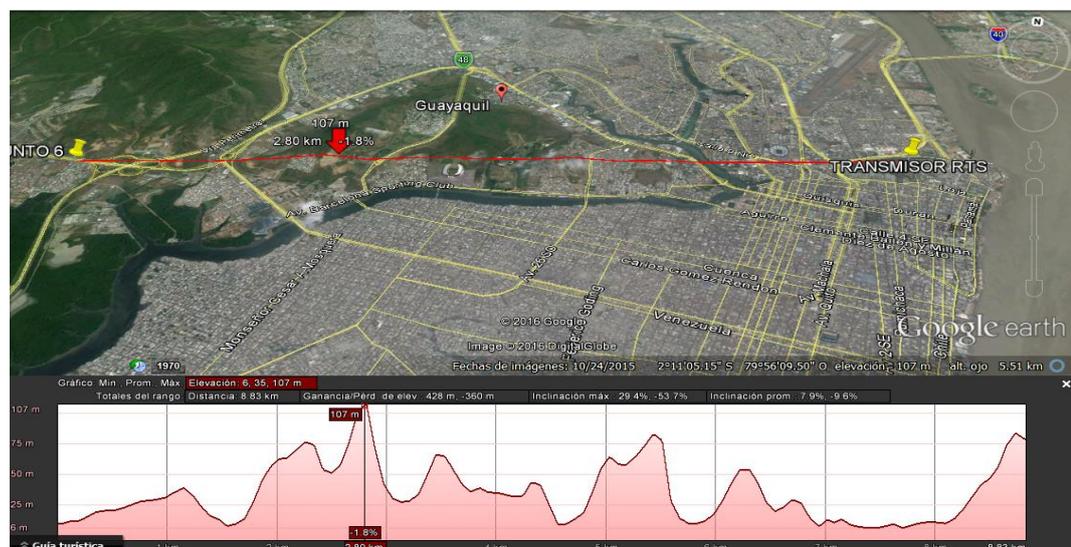


Figura 4. 6 Ubicación geográfica Punto 6 y perfil de elevación.

La figura 4.7 muestra que el Punto 7 se encuentra aproximadamente a 7,22Km del transmisor y no se observan elevaciones naturales en la trayectoria. Es importante mencionar que en el perfil de elevación se observa, adelante del transmisor, un pico de altura mayor, pero gracias a la altura que tiene la antena se puede evitar dicho pico para que no perjudique la trayectoria de la señal.

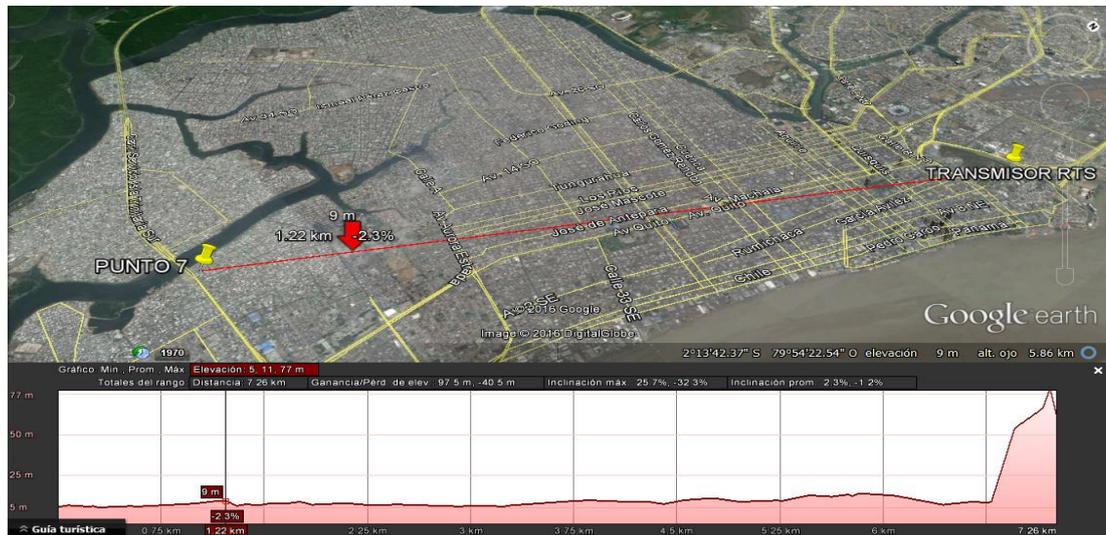


Figura 4. 7 Ubicación geográfica Punto 7 y perfil de elevación.

La figura 4.8 muestra que el Punto 8 se encuentra aproximadamente a 6,5Km del transmisor y no presenta elevaciones naturales. Es importante mencionar que en el perfil de elevación se observa, adelante del transmisor, un pico de altura mayor, pero gracias a la altura que tiene la antena se puede evitar dicho pico para que no perjudique la trayectoria de la señal.

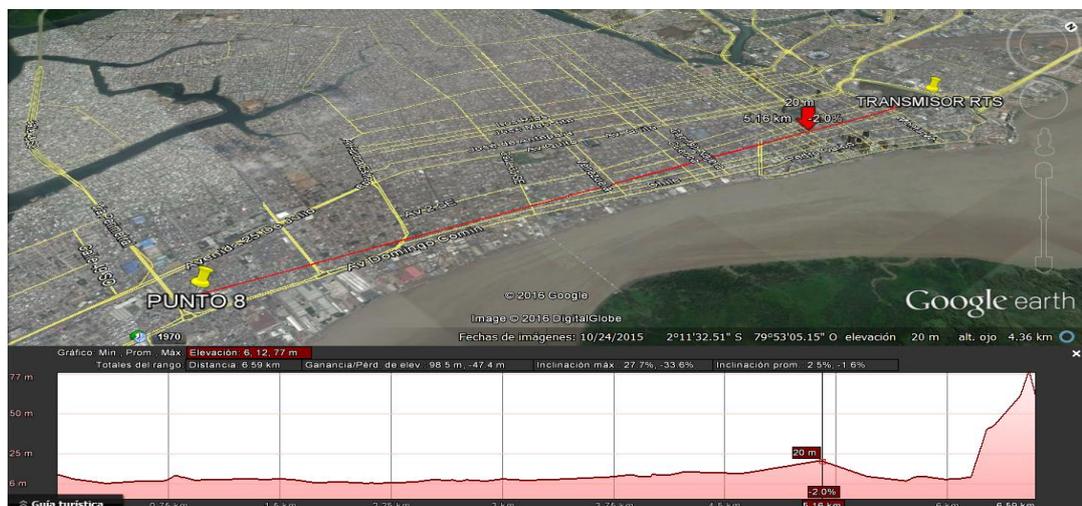


Figura 4. 8 Ubicación geográfica Punto 8 y perfil de elevación.

En la Figura 4.9 en el trayecto se encuentra una elevación natural de 63m, lo cual causa que el Punto sea considerado como una zona de sombra. Y se encuentra aproximadamente a 3,1Km del transmisor.

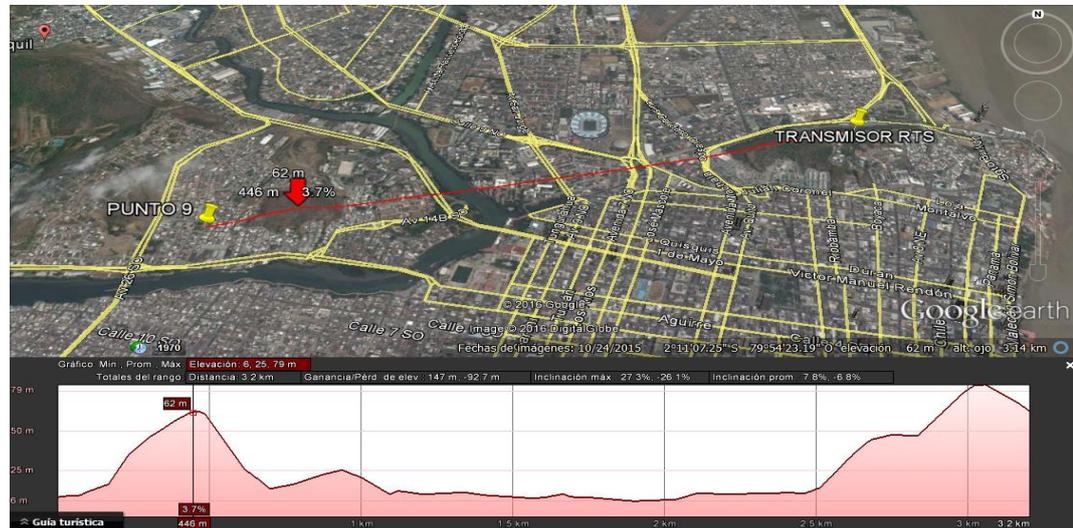


Figura 4. 9 Ubicación geográfica Punto 9 y perfil de elevación.

El punto mencionado de la figura 4.10 se encuentra aproximadamente a 10,5Km del transmisor y en su trayectoria se observan distintas elevaciones naturales, entre ellas la más alta de 63m aproximadamente. Dicha elevación ocasiona que la zona sea considerada como zona de sombra.

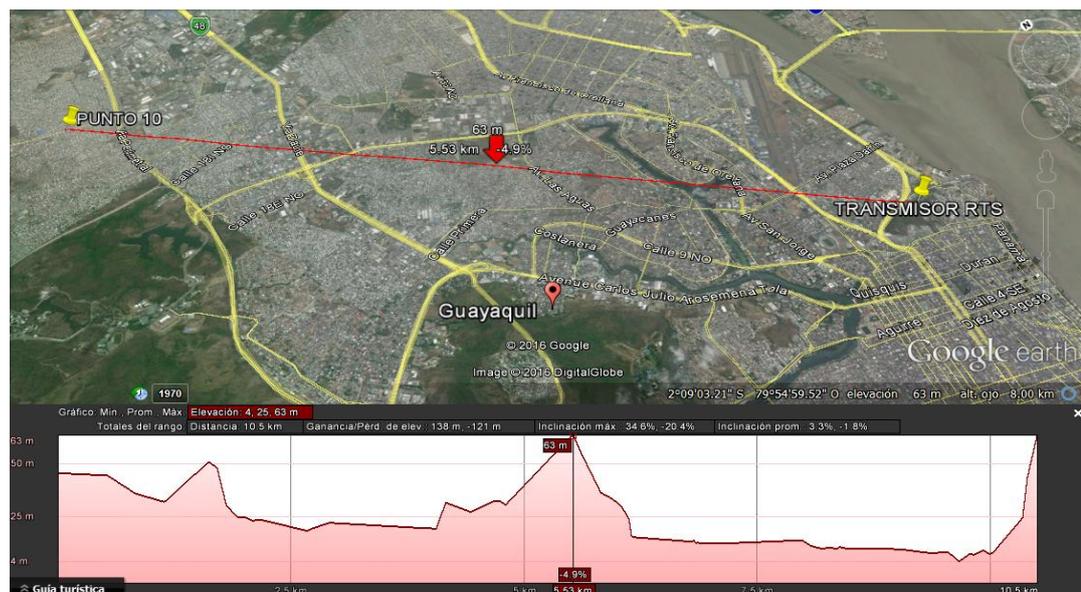


Figura 4. 10 Ubicación geográfica Punto 10 y perfil de elevación.

La figura 4.11 muestra la medición del punto 11 que tiene una distancia hacia el transmisor de 3,83km, y no se observan elevaciones naturales en el mencionado trayecto.

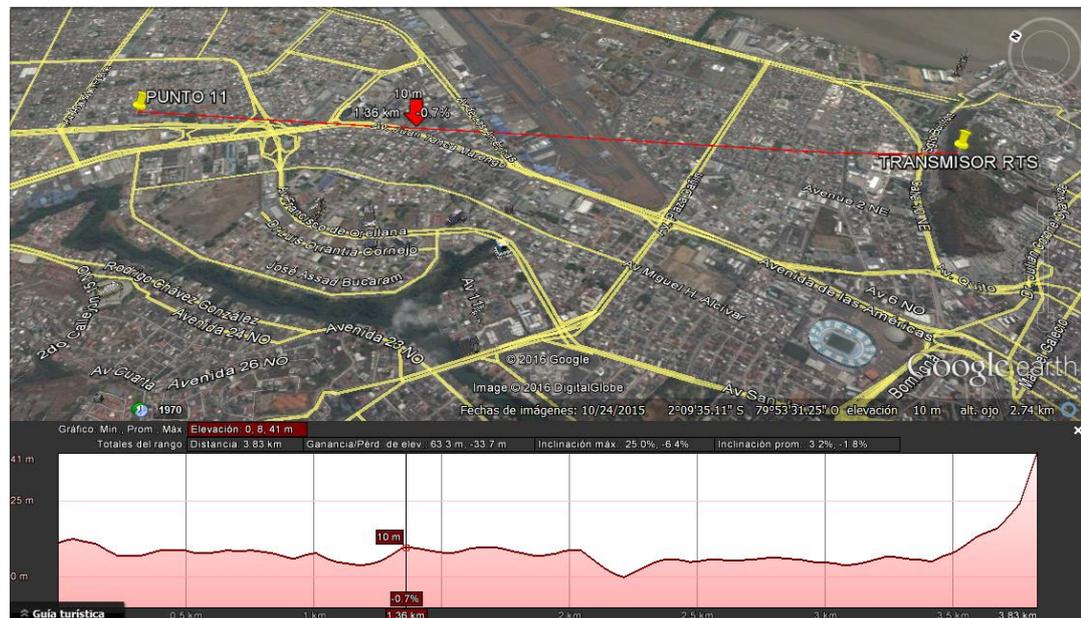


Figura 4. 11 Ubicación geográfica Punto 11 y perfil de elevación.

En la figura 4.12 se observa el Punto 12 que se encuentra a una distancia de 2,1km con respecto al transmisor y la única elevación en el trayecto se encuentra al pie del transmisor. Es importante mencionar que gracias a la altura de la antena del transmisor, se puede tener una propagación de señal sin inconvenientes en la dirección presentada.

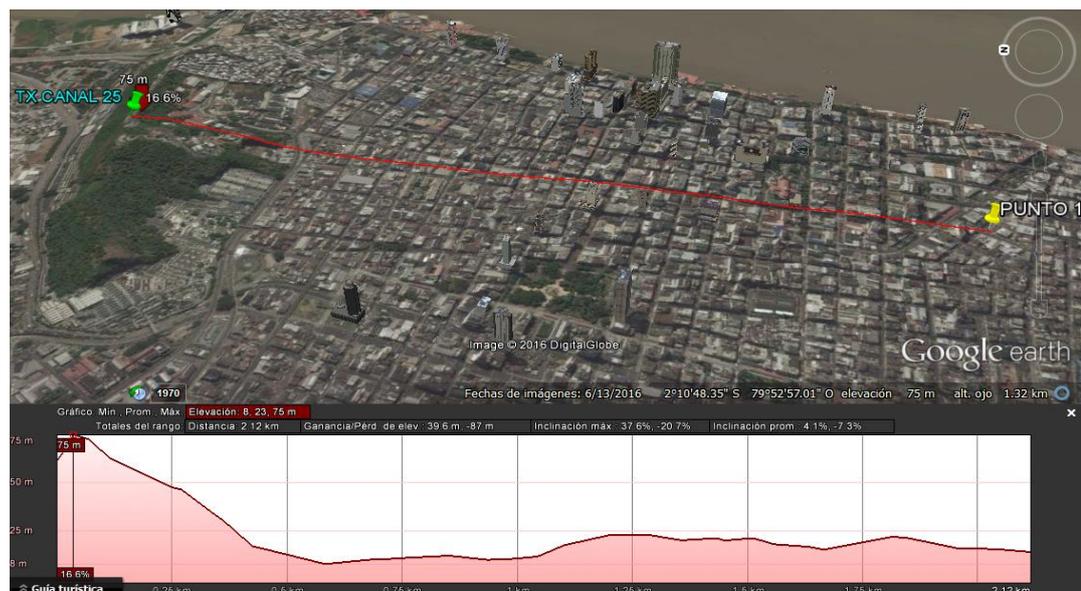


Figura 4. 12 Ubicación geográfica Punto 12 y perfil de elevación.

El punto 4.13, que se observa en la figura 37, se encuentra a una distancia de 1,45km del transmisor sin elevaciones naturales en el trayecto.

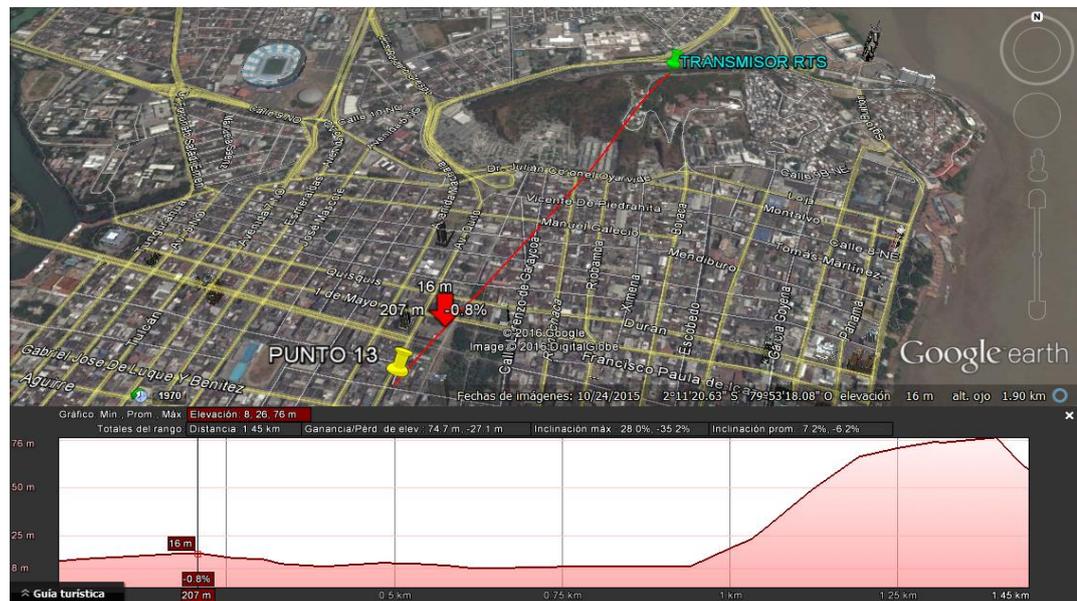


Figura 4. 13 1 Ubicación geográfica Punto 13 y perfil de elevación.

El punto 4.14 se encuentra a una distancia de 1,19Km del transmisor y en el trayecto no se encuentran elevaciones naturales.



Figura 4. 14 Ubicación geográfica Punto 14 y perfil de elevación.

El punto 4.15 se encuentra a una distancia de 1,25Km del transmisor y en el trayecto no se encuentran elevaciones naturales.

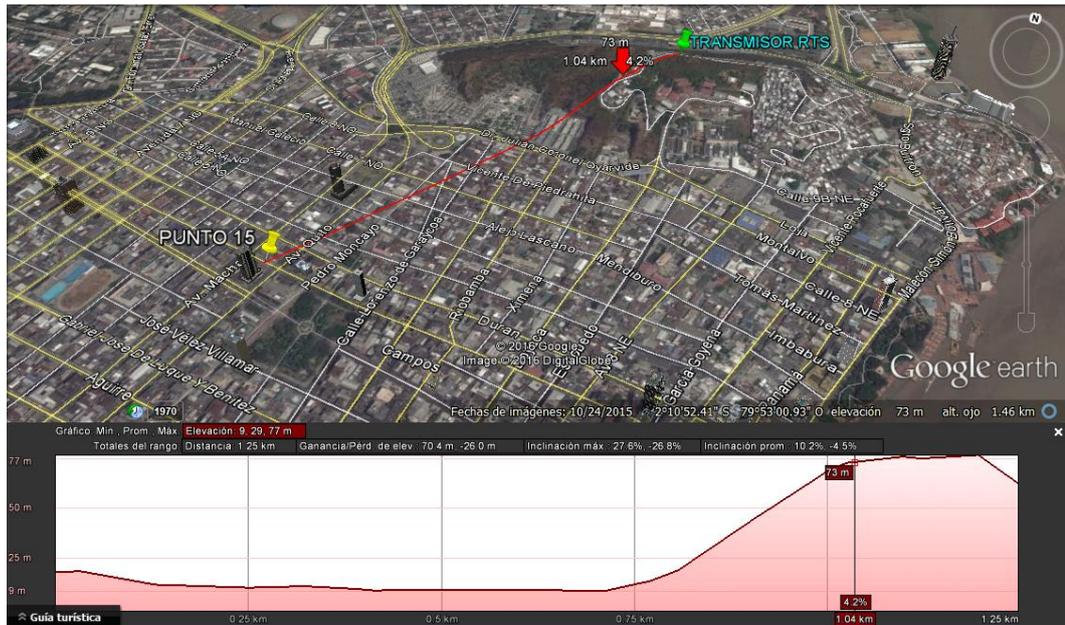


Figura 4. 15 Ubicación geográfica Punto 15 y perfil de elevación.

En la Figura 4.16 se observa el punto 16 se encuentra a una distancia de 1,05km del transmisor y la única elevación en el trayecto se encuentra al pie del transmisor. Es importante mencionar que gracias a la altura de la antena del transmisor, se puede tener una propagación de señal sin inconvenientes en la dirección presentada.



Figura 4. 16 Ubicación geográfica Punto 16 y perfil de elevación.

En la Figura 4.17 se observa el punto 17 se encuentra a una distancia de 1,37km del transmisor y la única elevación en el trayecto se encuentra al pie del transmisor. Es importante mencionar que gracias a la altura de la antena del transmisor, se

puede tener una propagación de señal sin inconvenientes en la dirección presentada.



Figura 4. 17 Ubicación geográfica Punto 17 y perfil de elevación.

El punto 4.18 se encuentra a una distancia de 1,45km del transmisor y en el trayecto no se encuentran elevaciones naturales, pero si se puede apreciar ciertas elevaciones de estructuras (edificios) de 60 y 70m aproximadamente que no causan mayor interferencia a la señal.

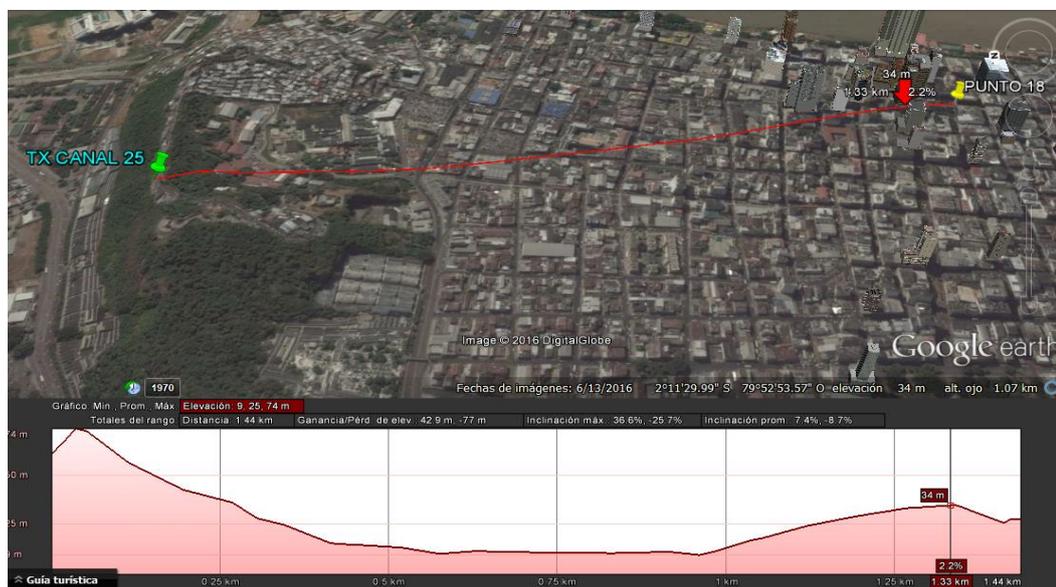


Figura 4. 18 Ubicación geográfica Punto 18 y perfil de elevación.

El punto 4.19 se encuentra a una distancia de 1,60km del transmisor y en el trayecto no se encuentran elevaciones naturales, pero si se puede apreciar ciertas elevaciones de estructuras (edificios) de 70 y 80m aproximadamente.

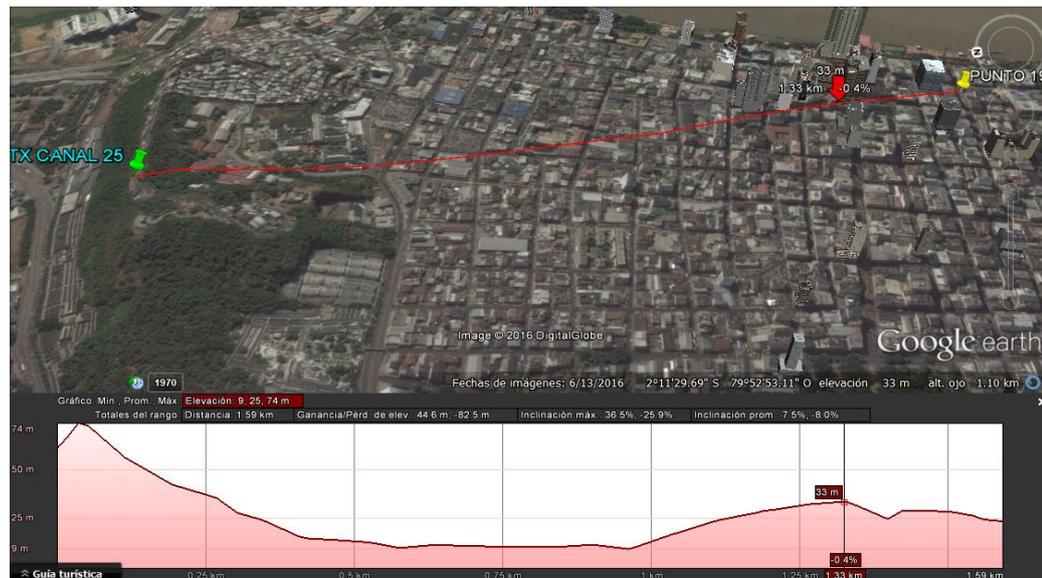


Figura 4. 19 Ubicación geográfica Punto 19 y perfil de elevación.

La figura 4.20, muestra que el punto 20 se encuentra a una distancia de 1,82km del transmisor y en el trayecto se encuentran pequeñas elevaciones naturales de aproximadamente 33m. Es importante mencionar que dichas elevaciones no afectan considerablemente la recepción de la señal.

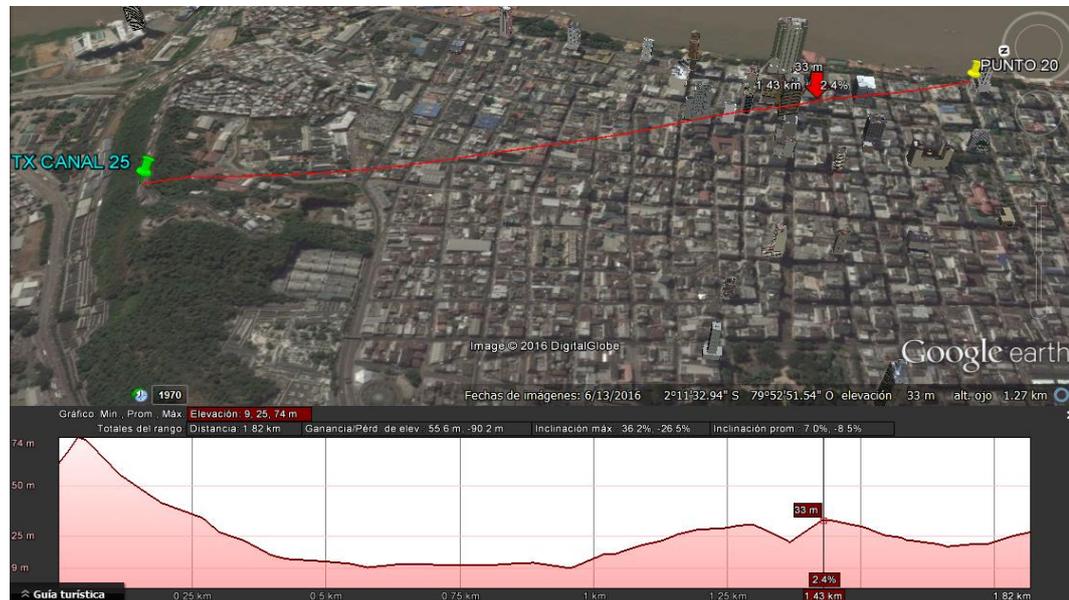


Figura 4. 20 Ubicación geográfica Punto 20 y perfil de elevación.

La figura 4.21 muestra el punto 21, el cual se encuentra a una distancia de 3,6km del transmisor y en el trayecto se encuentran pequeñas elevaciones naturales de aproximadamente 24m.



Figura 4. 21 Ubicación geográfica Punto 21 y perfil de elevación

El punto 22 se encuentra a una distancia de 2,42km del transmisor y la única elevación en el trayecto se encuentra al pie del transmisor. Es importante mencionar que gracias a la altura de la antena del transmisor, se puede tener una propagación de señal sin inconvenientes en la dirección presentada.

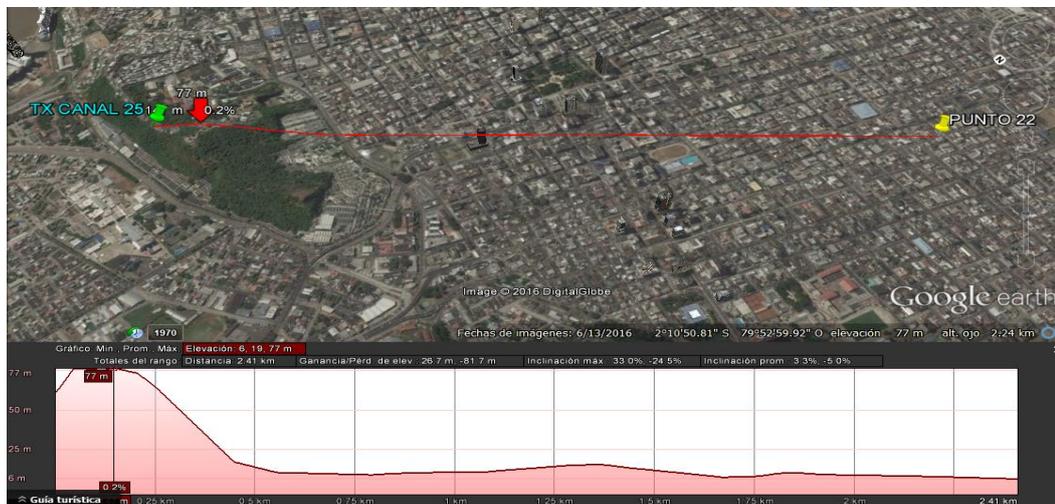


Figura 4. 22 Ubicación geográfica Punto 22 y perfil de elevación.

En la figura 4.23 se observa el punto 23, el cual se encuentra a una distancia de 5,26km del transmisor y en el trayecto se observa una elevación natural de aproximadamente 73m, la cual ocasiona que se presente una zona de sombra en dicha ubicación.

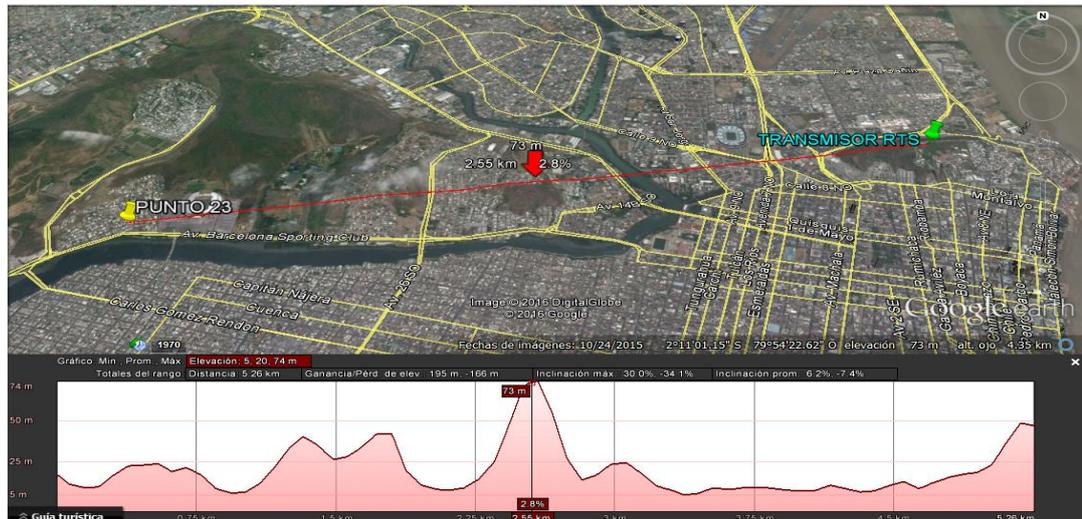


Figura 4. 23 Ubicación geográfica Punto 23 y perfil de elevación.

En la figura 4.24 se observa el punto 24, el cual se encuentra a una distancia de 12,5km del transmisor y en el trayecto se observa una elevación natural de aproximadamente 81m, la cual ocasiona que se presente una zona de sombra en dicha ubicación.

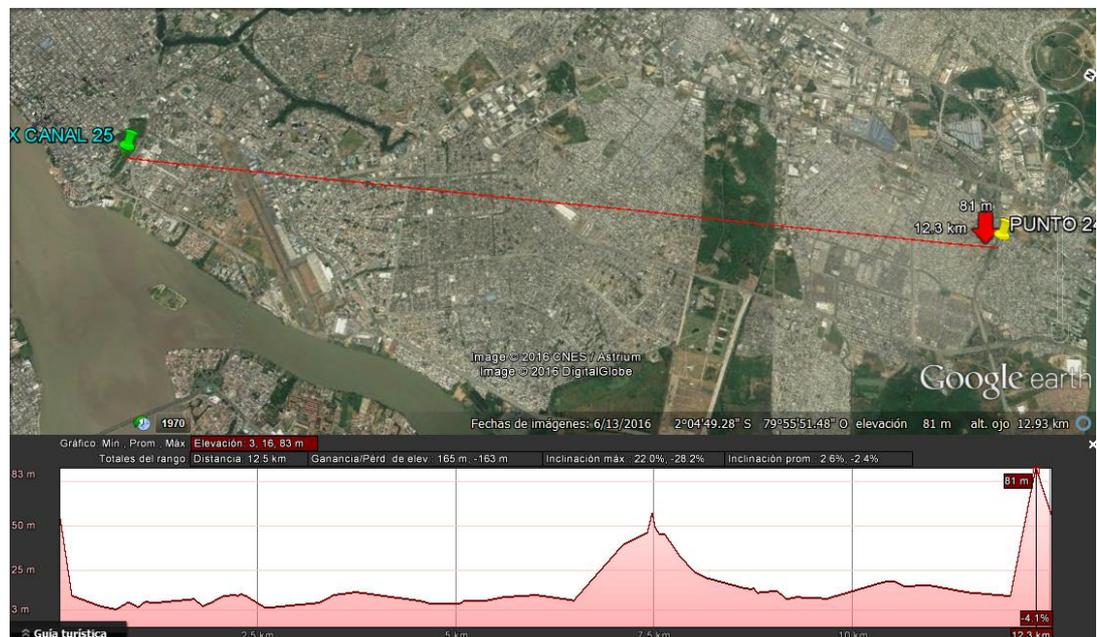


Figura 4. 24 Ubicación geográfica Punto 24 y perfil de elevación.

En cada uno de los puntos antes mencionados, se procedió a realizar las mediciones de varios parámetros considerados como necesarios para poder

obtener información del comportamiento de la señal del canal 25. Dichos parámetros a considerar son:

- Intensidad de campo (dB μ V/m)
- MER (dB)
- Frecuencia de operación (MHz)
- BER (adimensional)
- Desviación de la frecuencia central (Hz)
- Intervalo de Guarda
- Modo de operación
- Ancho de Banda (MHz)
- Daiagramas de Constelación de cada capa
- Demodulación de Imagen

En las Figuras 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 y 4.30 presentadas a continuación, se podrá observar las imágenes tomadas del dispositivo utilizado para determinar los parámetros antes mencionados:

RF Preselection	RF	539.125 MHz		
	Band	UHF 4/5		
	Channel Table	TV Japan		
	Gain Control / RF Attenuation	Auto Low Distortion / 30 dB		
[GPS] Position:	Latitude 000° 10' 13.212" S	Longitude 078° 28' 57.684" W		
Measurement Parameter				
Power	-25.23 dBm	Crest Factor	23.18 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	24.1 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	7.3 dB	
RF Offset	17858.6 Hz	MER TMCC	24.9 dB	
Symbol Rate Offset	0.6 ppm	MER AC	24.9 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	23.1	23.4	---	dB
BER before Viterbi	---	5.5E-04	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-05	---	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-04	---	---	
Packet Errors	0	0	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416088	14.979157	---	Mbit/s
RF	Tamaño paso RF	Offset freq.	Canal	Tabla canal

Figura 4. 25: Parámetros RF

RF Preselection	RF	539.125 MHz		
	Band	UHF 4/5		
	Channel Table	TV Japan		
	Gain Control / RF Attenuation	Auto Low Distortion / 30 dB		
[GPS] Position:		Latitude 000° 10' 13.212" S	Longitude 078° 28' 57.684" W	
Power	-24.99 dBm	Demod	locked	ISDB-T Mode 3(8K) MER (total, rms) 24.2 dB
Crest Factor	13.25 dB	FEC	locked	Guard Interval 1/8 MER (TMCC, rms) 25.1 dB
Transmission and Multiplexing Configuration Control				
System Identification		ISDB-T		
Parameter Switching Indicator		Normal Value		
Emergency Alarm Broadcasting		Off		
Partial Reception		On		
Phase Shift Correction		0x7		
Reserved Bits		0xFF		
		Layer A	Layer B	Layer C
Modulation		QPSK	QAM64	n/a
Code Rate		2/3	2/3	n/a
Time Interleaving		4	2	n/a
Number of Segments		1	12	0
Modo de medición	Perfil de medición	Aten. RF/ctrl. ganancia	Ajustes demod.	Info TMCC Salir

Figura 4. 26 Información TMCC

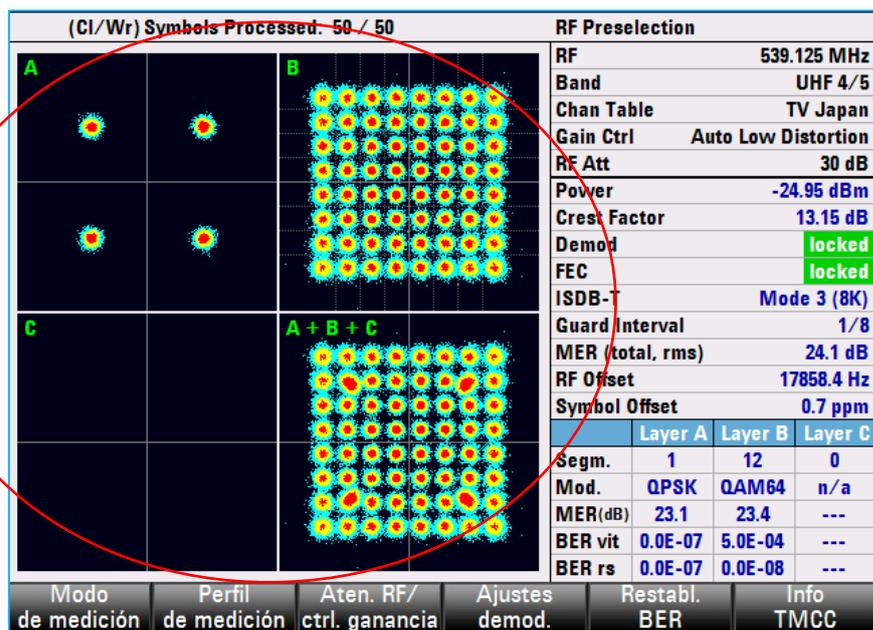


Figura 4. 27 Diagramas de constelación de cada capa

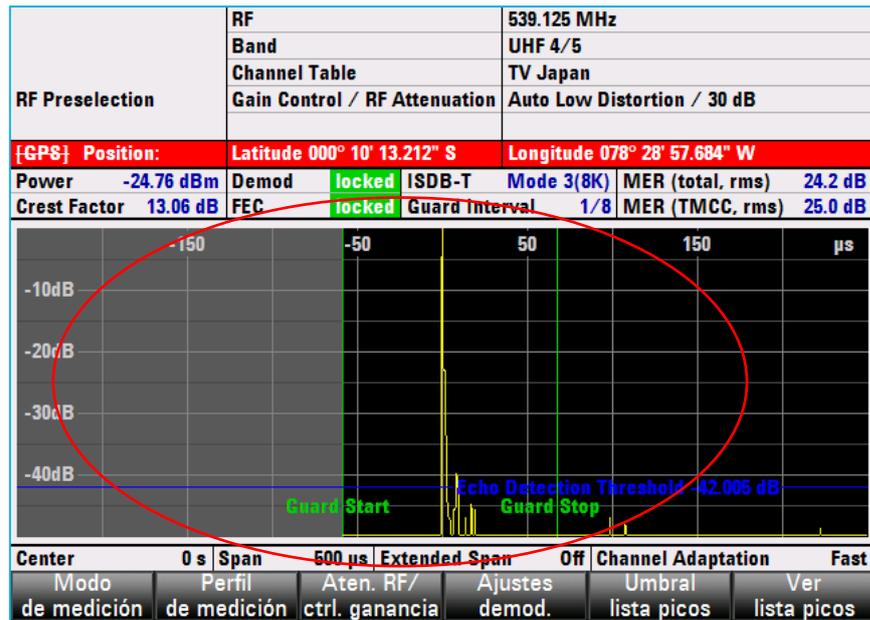


Figura 4. 28 Detección de señales dentro del intervalo de guarda

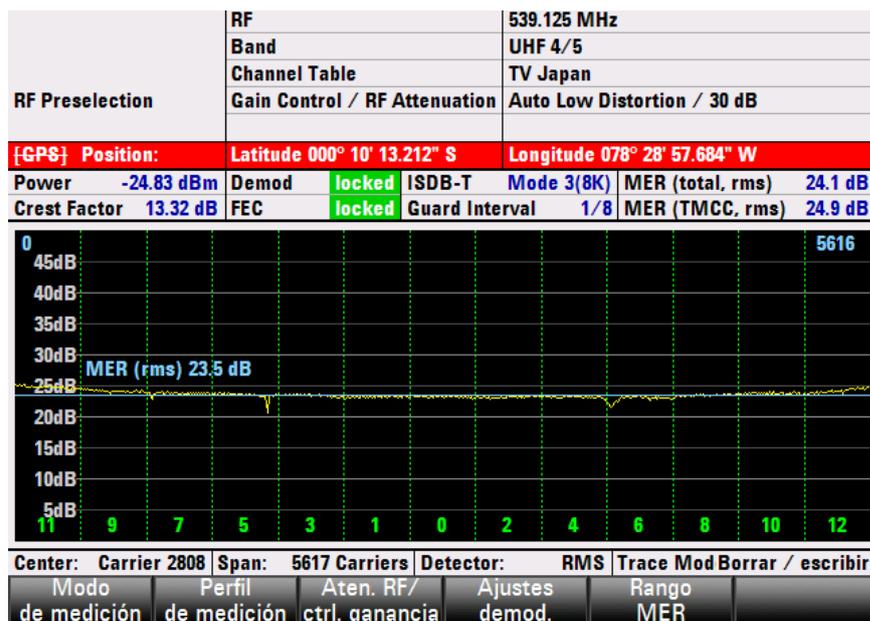


Figura 4. 29 Detección del parámetro MER

Es importante mencionar que la figura 4.29 mostrada, indica el valor del MER como valor cuadrático medio (rms) de todas las capas que se transmiten en la señal.



Figura 4. 30 Detección de la imagen

Las capturas de cada una de las Fig. 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 y 4.29 se procede a realizar con un analizador de señal de televisión digital cargado con el estándar ISDB-Tb marca Rohde & Schwarz ETH, el cual será descrito en la sección 4.3, montado dentro del sistema del SACER (Sistema Automático de Control del Espectro Radioeléctrico) de propiedad de ARCOTEL el cual permite desplazarse a distintos lugares sin mayor inconvenientes.

Cada una de las mediciones ha sido realizada en estricto cumplimiento de las recomendaciones de la UIT-R SM378-7 y considerando que se medirá entre los parámetros, la intensidad de campo de una frecuencia que se encuentra en el rango de 9 KHz y 3 GHz (consideración planteada en la norma mencionada), la cual específica, entre los puntos más importantes de su Anexo 1 lo siguiente [26]:

1. Se recomienda utilizar una antena debidamente calibrada y adaptada a la frecuencia deseable [26]. Con relación a este aspecto, la antena ADC2300 tiene certificado de calibración durante la garantía extendida del sistema por parte del proveedor Rohde & Schwarz.
2. El receptor debe estar ajustado a una máxima retención en cada frecuencia, de tal manera que durante 2 minutos pueda formar una traza uniforme [26]. Para atender lo indicado, se configura el receptor ETH con la opción *MaxHold*, la cual permite cumplir con lo mencionado en la especificación.
3. Se recomienda calibrar la antena, línea de alimentación y el receptor como un todo [26]. El sistema SACER ha sido calibrado, cada una de las estaciones que lo compone, en conjunto todos sus dispositivos y componentes.

4. Las antenas portátiles deben recalibrarse periódicamente de tal manera que puedan cumplir con las normas [26]. Como se indicó anteriormente, ARCOTEL tiene un contrato de garantía extendido, el cual indica que se proceden con 4 mantenimientos anuales de cada uno de los componentes de sus estaciones, lo cual incluye la estación móvil que se utilizó para las mediciones del presente trabajo.
5. Para medición de señales entre 30MHz y 1GHz la antena debe de estar a unos 10m de altura en relación al suelo para evitar el acoplamiento mutuo [26]. Debido a que se utilizará un vehículo, el cual permite elevar un mástil a 10m (Fig. 4.31), se puede evitar el acoplamiento mutuo que se pueda presentar por el techo de dicho vehículo.



Altura del mástil = 10 mts sobre nivel del suelo

Figura 4. 31 Móvil utilizado para las mediciones

En relación al clima, según se comenta en la UIT en su predicción [27], se puede considerar despreciables las señales difractadas por el clima cuando se transmiten señales que se encuentra en los 300MHz y 1GHz, por lo tanto en el presente trabajo no se considera el clima para determinar distintas muestras. Es importante mencionar que las mediciones realizadas en cada punto se hicieron durante 5 días en horarios matutinos (entre las 09H00 y 14H00).



Figura 4. 32 Equipos utilizados para las mediciones

4.2 Configuración de parámetros del Transmisor de Televisión Digital

Como se especificó en capítulos anteriores, en el presente proyecto nos concentraremos en el estudio de la transmisión de TDT del canal 25 UHF, para lo cual necesitaremos especificar las características técnicas que tiene el sistema de transmisión de dicho canal. Dichas especificaciones se determinaran gracias a la información facilitada por el personal técnico y lo observado en la visita al sitio donde se encuentran ubicado los equipos.

Actualmente la estación se ubica en Cerro del Carmen con las siguientes coordenadas:

- Latitud: 02°10'47.16"S
- Longitud: 79°52'56.79"O
- Altura sobre el nivel del mar (s.n.m): 82m

4.2.1 Descripción del transmisor

Según lo investigado durante el desarrollo del presente proyecto, el transmisor utilizado por el Canal 25 es un equipo de la familia R&S THU9 que permite la difusión de la transmisión digital terrestre de forma eficiente y muy flexible entorno a su configuración. Ofrece un máximo de potencia de salida de 15KW distribuidos en rack de 5 KW cada uno considerando

transmisión COFDM [28]. Es importante mencionar que dicho equipo tiene un diseño todo en uno, es decir incluye hasta 4 amplificadores y un filtro pasa banda de 6 cavidades reduciendo considerablemente el espacio necesario.



Figura 4. 33 Transmisor Canal 25

La configuración de dispositivo es bastante intuitiva, permite realizar tareas de simple monitoreo así como un acceso rápido a configuraciones más avanzadas en el transmisor con un mínimo esfuerzo.

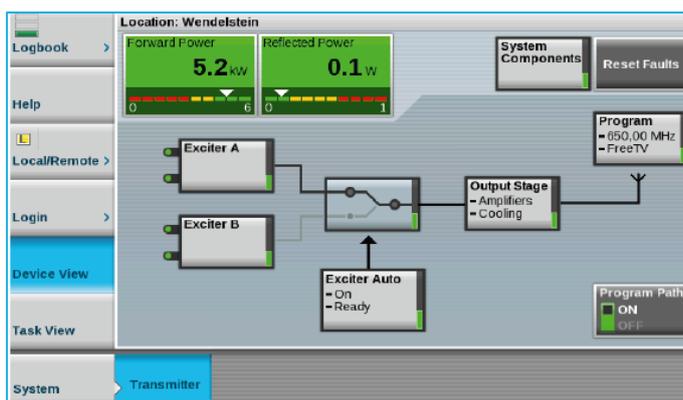


Figura 4. 34 Interfaz del Transmisor Canal 25

El dispositivo puede operar en la Banda UHF IV y V, es decir de 470MHz a 862MHz (lo cual permite la configuración del Canal 25) y soporta los estándar DVB-T, DVB-H, ISDB-T, ISDB-Tb con canal de 6 MHz y ATSC.

4.2.2 Descripción de Parámetros técnicos

A continuación se describe los parámetros técnicos de interés con los que actualmente se encuentra configurado el transmisor del canal 25, cabe mencionar que dichos parámetros fueron determinados gracias a una visita técnica realizada a las instalaciones del dicho canal.

Parámetros Técnicos	
Frecuencia Autorizada	536 – 542MHz
Ancho de Banda	6MHz
Sistema Radiante	Arreglo de 20 paneles UHF
Patrón de Radiación	Omnidireccional
Ganancia	11,3dBi
Polarización de antena	Horizontal
Perdidas	2dB (1,5 dB de pérdidas por cable y 0,5 db de perdida por el combinador)
Potencia de transmisor	4,43KW
Modulación	Capa A: QPSK Capa B: 64 QAM
Intervalo de Guarda	1/8
FEC	2/3
Formato de Operación	HDTV (1080i)
Modo de Operación	8K (Modo 3)

Tabla 20: Descripción de los parámetros técnicos configurados en el transmisor canal 25.

La potencia de transmisión fue verificada visualmente en el tablero de configuración del equipo:

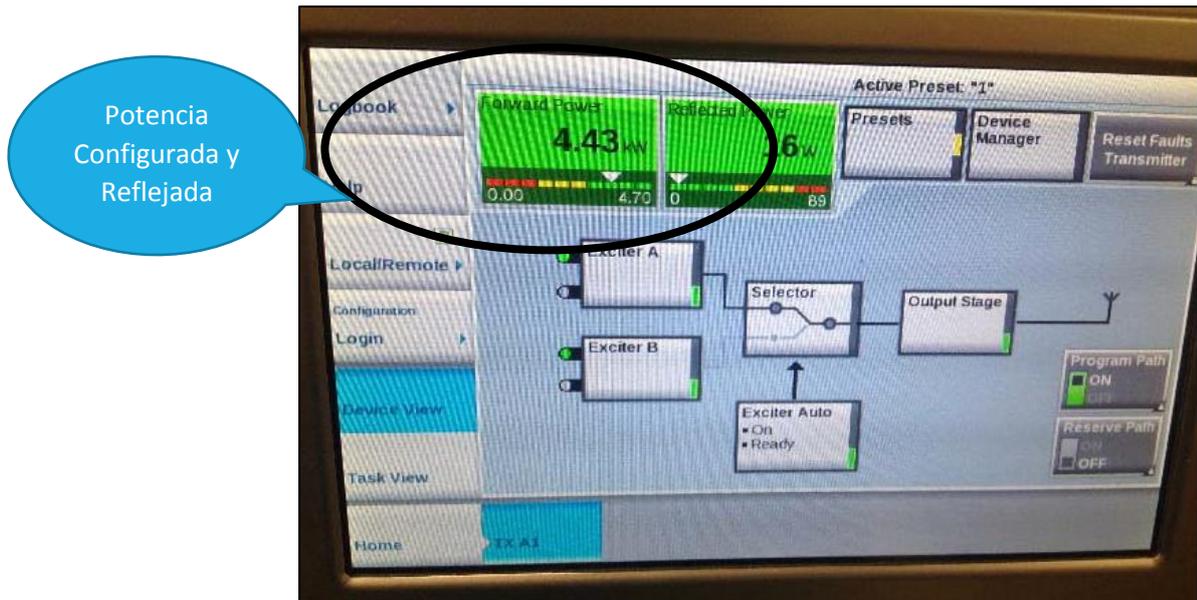


Figura 4. 35 Potencia configurada en el transmisor

Es importante mencionar que para tener datos más reales en torno a la potencia del transmisor, se sugiere realizar la medición de la misma colocando un Vatímetro a la salida del filtro del transmisor, debido a que en dicho filtro puede ocasionar perdidas que disminuirán la potencia antes mencionada. Cuando se realizó la inspección, lastimosamente no se pudo proceder de dicha manera, debido a que se ocasionaba un corte en la transmisión de la programación.

Configuration	Modulation (Manual)	Modulation (Active)	NIT Restamping	Test
Common IIP Settings				
Bandwidth	Layer A	Layer B	Layer C	Status
6 MHz	Segments 1	Segments 12	Segments 0	Configuration Valid
Partial Reception On	Constellation QPSK	Constellation 64 QAM	Constellation DQPSK	
FFT Length 8k (Mode 3)	Coderate 2/3	Coderate 2/3	Coderate 1/2	
Guard Interval 1/8	Interleaver 4	Interleaver 2	Interleaver 0	

Figura 4. 36 Configuración de Modulación, Intervalo de Guarda y Modo de operación

En la figura 4.36 se puede apreciar la configuración de la Modulación por cada capa, la configuración del ancho de banda del canal, el Modo de operación para determinar la cantidad de portadoras y el intervalo de guarda con el que está operando el transmisor.

Estos parámetros permitirán desarrollar el análisis de la propuesta planteada en el siguiente capítulo.

En cuanto al sistema radiante que utiliza para la propagación de la señal, se puede indicar que trabajan con un arreglo de 20 paneles UHF con un arreglo de 4 dipolos en polarización horizontal sujetos a una torre de transmisor de 32m.



Figura 4. 37 Sistema Radiante

4.2.3 Recomendaciones Internacionales

Según lo estipulado por la "Norma Técnica para el servicio de Radiodifusión y Televisión Digital Terrestre" presentada por ARCOTEL en el 2015, se establece parámetros que se deben de considerar para la asignación de canales y la operación de cada una de las estaciones de televisión que operen dentro del territorio Ecuatoriano. La mencionada normativa presentada para regulación, a su vez se basa en la Normativa de la UIT y la normativa técnica brasileña ABNT.

Tal como se describió en la sección 3.1.1 y en la normativa ecuatoriana, estipula que los parámetros configurados en la estación de transmisión, deberán garantizar que la **intensidad de campo mínima en el borde del área de cobertura es de 51dB μ V/m** el 90% del tiempo en el 50% de los lugares de recepción. Por lo tanto para nuestras mediciones se deberá determinar si durante 1 minuto y 48 segundos (considerando 2 minutos de

medición en cada uno de los puntos) las mediciones tomadas en por lo menos 8 lugares de los 16 considerados, cumplen con valores de densidad de campo menor igual a $51\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$; si esta condición se cumple, se puede indicar que se cumple con la cobertura en la ciudad de Guayaquil estipulada, es decir es una condición suficiente para determinación de la cobertura, sin embargo no asegura que todos los sectores de la ciudad estén totalmente cubiertos por la señal.

En atención con el parámetro **MER** (Tasa de error de Modulación) el **valor mínimo** con el que debe de cumplir cada una de nuestras mediciones es de **32dB** en cada uno de los puntos, considerando lo estipulado en la normativa expedida por ARCOTEL.

La normativa ABNT NBR 1506:1 indica que la frecuencia central del canal deberá necesariamente estar desplazada, positivamente, $1/7\text{MHz}$ que equivale a $142,857\text{KHz}$, por lo tanto para este caso puntual del canal 25, la frecuencia central deberá estar ubicada en $539,142571\text{MHz}$.

A continuación se presenta las recomendaciones realizadas gracias a los resultados obtenidos de mediciones en las ciudades de Rio de Janeiro y Sao Paulo, que permitirán establecer una guía para nuestro proyecto:

Parámetro	Rio de Janeiro	Sao Paulo	Guayaquil
Frecuencia central	563 MHz	593 MHz	539 MHz
Modo de Operación	8k	4k	8k
Intervalo de Guarda	1/16	1/16	1/8
Modulación	64 QAM	No especifica	64 QAM
Altura de antena Tx	No especifica	104m	82m
Potencia del Transmisor	No especifica	2,5KW	4,43KW
Ganancia de la Antena	No especifica	9dBi	11,3dBi
Altura de antena Rx	13,4m	10m	10m
No. Mediciones	31	127	24
Distancia máxima medida	50Km	40Km	12Km

Tabla 21: Descripción de los parámetros técnicos configurados en el transmisor canal 25 [31] [13]

Cabe mencionar que existen parámetros que no se pudieron obtener de la documentación recabada, pero en su gran mayoría coincide con los demás parámetros con los mencionados en el presente proyecto para realizar el respectivo diseño de red de Guayaquil. Existe una gran diferencia entre la cantidad de mediciones que se presenta en cada uno de los proyectos, pudiéndose observar que en el presente esquema de medición se observa la menor cantidad; la explicación para dicha observación, radica en que la geografía de la ciudad de Guayaquil es mucho más regular que la de Rio de Janeiro y Sao Paulo, así como también las distancias entre el transmisor y el punto más lejano de medición (siendo la menor distancia la de este proyecto como se observa en la tabla 21).

Por lo antes mencionado creemos que está plenamente justificado la cantidad de puntos de medición a realizar en nuestro trabajo.

4.3 Descripción de equipos para realizar la cobertura

Para la realización de las mediciones del presente trabajo se ha utilizado instrumentación de propiedad de ARCOTEL, adaptada al Sistema SACER que permite realizar mediciones en distintas pruebas con la facilidad de movilizarse en tiempos relativamente cortos, a continuación se hará una descripción detallada de las principales características de dichos equipos que a su vez permitirán considerar las normativas y recomendaciones internacionales para mayor credibilidad del proyecto.

4.3.1 Analizador ETH

El analizador ROHDE&SCHARZ ETH es un dispositivo altamente portátil que permite realizar múltiples mediciones de cobertura de campo de señales de Televisión Digital bajo el estándar DVB-T, DVB-H e ISDB-T en transmisiones de baja potencia o *Gap Filler*.



Figura 4. 38 Analizador R&S ETH para mediciones de campo [33]

Debido a que es un dispositivo que fue diseñado para realizar mediciones de TV, permite levantar información dentro de un rango de 30MHz a 3GHz adaptándose sin inconvenientes a las mediciones que necesitamos realizar. Una gran ventaja es que permite realizar la configuración de la frecuencia o por canal.

Dicho dispositivo permite detectar automáticamente los diagramas de constelación y parámetros de las distintas modulaciones con las que opera TDT, es decir QPSK, DQPSK, 16 QAM y 64 QAM. Entre dichos parámetros nos permite identificar el modo de operación del sistema (ver fig. 4.39).

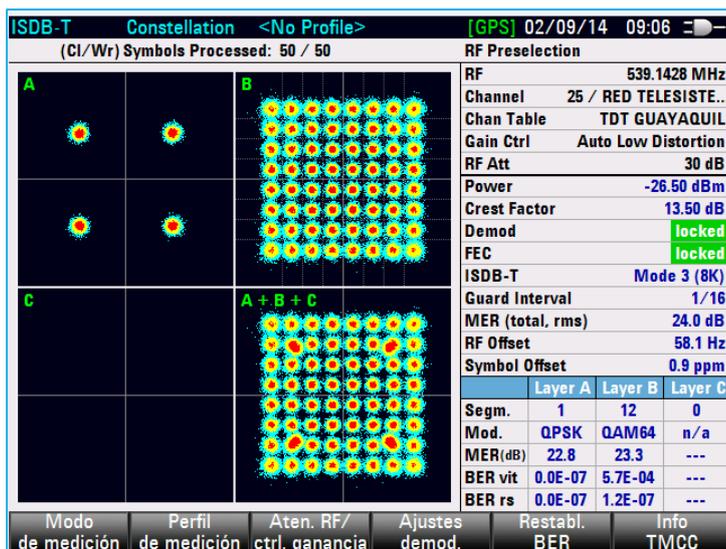


Figura 4. 39 Detección automática de parámetros de modulación

El dispositivo permite reproducir un gráfico donde se observa los ecos recibidos por multitrayecto y los respectivos retardos de las señales provenientes de otros transmisores en una red SFN, de tal manera que se pueda ejecutar un mejor análisis de los problemas presentados en relación a la respuesta del canal variando el umbral para la detección de los ecos mencionados.

En relación a la señal de TV recibida, el dispositivo permite visualizar el diagrama de la “campana” formado por la respuesta en frecuencia del espectro OFDM, de tal manera que se pueda visualizar interferencias co-canales y controlar el ancho de banda de la señal. Permite realizar mediciones directas de intensidad de campo en $\text{dB}\mu/\text{m}$ (ver Fig. 4.40).



Figura 4. 40 Detección de la respuesta en frecuencia.

En relación a la tasa de error de modulación (MER), se puede visualizar los valores en RMS (valor cuadrático medio, por sus siglas en inglés) o en *peak* es decir el peor valor, y se puede observar dichos valores, versus las portadoras OFDM. De igual manera, en la demodulación se puede realizar la medición de la tasa de error de bit (BER) antes del decodificador de Viterbi y el decodificador Reed-Solomon, esta tasa puede ser observada por cada una de las capas A, B o C (ver Fig. 4.41).

	Layer A	Layer B	Layer C
Segm.	1	12	0
Mod.	QPSK	QAM64	n/a
MER(dB)	22.8	23.3	---
BER vit	0.0E-07	5.7E-04	---
BER rs	0.0E-07	1.2E-07	---

Figura 4. 41 Detección de los parámetros VER y MER por capas.

Otro parámetro importante que debemos acotar, es que presenta un nivel de señal desde -76dBm hasta +10dBm, convirtiendo en una gran herramienta para poder visualizar valores de ruido bastantes extremos.

Posee una precisión de medición muy alta, debido a la sincronización que puede prestar con su señal de referencia (10MHz) para darle estabilidad interna al oscilador de referencia.

El dispositivo trae integrado un poderoso GPS que da la versatilidad para realizar mediciones móviles o *drive test*.

Por otro lado, el hecho que pueda realizar 8 mediciones por segundo, brinda la capacidad de poder detectar fiablemente interferencias impulsivas de corta duración que se presente en el momento de las mediciones.

Finalmente se puede mencionar que el dispositivo descrito, nos permitirá determinar el Intervalo de guarda con el que opera el trasmisor, estado de la demodulación de la señal, el desfase de la señal y la potencia recibida en dBm (ver la fig.4.42).

RF	539.1428 MHz
Channel	25 / RED TELESISTE...
Chan Table	TDT GUAYAQUIL
Gain Ctrl	Auto Low Distortion
RF Att	30 dB
Power	-26.50 dBm
Crest Factor	13.50 dB
Demod	locked
FEC	locked
ISDB-T	Mode 3 (8K)
Guard Interval	1/16
MER (total, rms)	24.0 dB
RF Offset	58.1 Hz
Symbol Offset	0.9 ppm

Figura 4. 42 Verificación de IG, Demodulación, Potencia Recibida y desfase de la señal.

4.3.2 Antenas para recepción

Como parte del sistema de recepción utilizado para las pruebas descritas, la antena de recepción utilizada se llama ADC-2300, la cual es un receptor de banda ancha con un rango de recepción de frecuencia de 20MHz a 3GHz, lo cual se ajusta a nuestro trabajo, debido a que la frecuencia del canal de recepción es de 539MHz. Dicha antena con un patrón de radiación omnidireccional, es de polaridad horizontal ideal para la recepción de los sistemas de televisión abierta.



Figura 4. 43 Antena ADC2300 [30]

Para estas mediciones vamos a utilizar la antena mencionada con su característica de “antena activa”, para la banda baja, es decir de 20MHz a 1GHz y pasiva para la banda alta, es decir de 1GHz a 3GHz.

A continuación se presenta de forma detalla las características eléctricas, mecánicas y de frecuencia:

Características Eléctricas ADC-.2300	
Polarización	Horizontal
Patrón de Radiación	Azimuth Omnidireccional
Ganancia	15dBi *
Impedancia	50 Ohm
Voltaje requerido (Pre Amplificador)	12 VDC
Voltaje requeridos (Switch)	5VDC
Características de Sensibilidad	
Sensibilidad	36.9dB μ V/m
Sobre carga	25.7dB μ V/m
Temperatura de operación	De -45°C a +50°C
Características de Mecánicas	
Conector RF	Tipo N hembra
Dimensiones (cm)	12.75 x 12.75 x 16.25
* La ganancia de la antena depende de la frecuencia medida, para ello verificar la fig 4.3.2.2.	

Tabla 22: Descripción de los parámetros técnicos de la antena receptora [30]

El comportamiento de la ganancia de la antena depende exclusivamente de la frecuencia que se está realizando la medición y es directamente proporcional a dicho parámetro; por lo tanto para nuestro objetivo de medición, se pudo determinar que nuestra antena tendrá una ganancia de 19dB (ver fig.4.44).

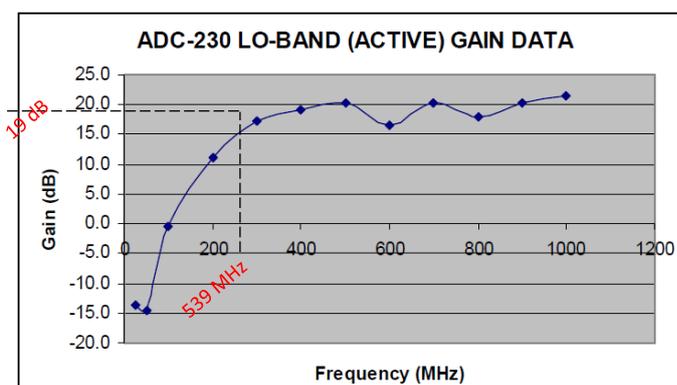


Figura 4. 44 Comportamiento de la Ganancia vs Frecuencia medida [30]

4.3.3 Receptor de canales con estándar ISDB-Tb

Unos de los equipos fundamentales para realizar mediciones y obtener información más precisas acerca del comportamiento de la señal de TDT, es el receptor de Televisión. Dicho receptor, capaz de de-modular una señal transmitida con el estándar ISDB-Tb, permitirá determinar visualmente la calidad con que se recibe la señal en cada uno de los puntos, considerando que el hecho que tenga un buen nivel de intensidad de campo o MER no indica que necesariamente pueda observar con calidad la imagen del canal.

Por lo antes mencionado y para efectos de las mediciones realizadas, se procedió a utilizar como receptor visual los siguientes dispositivos:

Televisor (fig. 4.45):

- Marca: LG
- Modelo: 32LB580B-SB
- Estándar ISDB-Tb incorporado
- Antena: Antennacraft SMS921
- Altura de antena: 2m.



Figura 4. 45 Televisor para recepción de Señal.

Laptop (fig.4.46):

- Sintonizador: Híbrido de Tv Digital y Analógica
- Antena: Antennacraft SMS921
- Altura de la antena: 2m

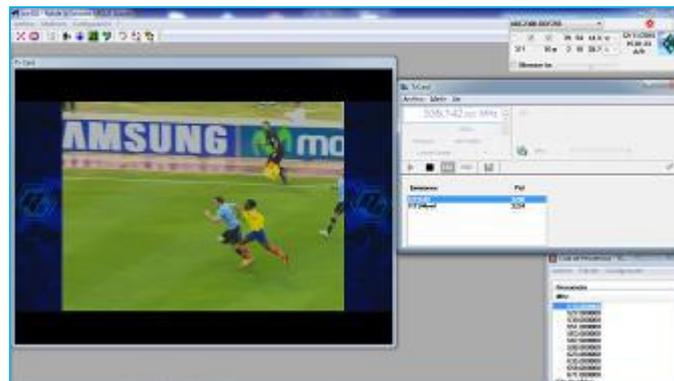


Figura 4. 46 Sistema SACER para recepción de Señal.

4.4 Mediciones

En la presente sección se presentara las consideraciones principales tomadas en cuenta para realizar las respectivas mediciones del proyecto, por ello a continuación describiremos cada una de ellas basadas en la recomendación de la UIT-R SM378-7 (véase la sección 4.1).

4.4.1 Tiempo y Periodicidad de la Medición

Para realizar cada medición, se diseñó un procedimiento basado en la recomendación de la ITU-R y en experiencias internacionales, con el objetivo de determinar el tiempo y la periodicidad con que se realizara cada medición, el cual se describe a continuación:

1. Se realiza un análisis, con apoyo de un mapa territorial de la ciudad facilitado por el Municipio de Guayaquil, de cada uno de los puntos en donde se realizaran las mediciones, de tal manera que se haga la debida programación para determinar los días necesarios para las mediciones en cada punto. Para dicho análisis, se plantearon distintos criterios que permitieron elegir cada sitio de medición:
 - Experiencia de zonas de sombra en base a la propagación de señal de televisión analógica.
 - Sectores en donde exista una tasa altamente considerable de población.
 - Sectores donde limite la población urbana de la ciudad de Guayaquil.
 - Sectores donde se encuentren una alta densidad de edificaciones altas que puedan perjudicar la recepción de la señal.

2. Se determina una totalidad de 24 puntos necesarios para tomar las mediciones, de tal manera que se pueda tener criterios confiables para el análisis (vea la tabla 19).



Figura 4. 47 Posicionamiento de los 24 puntos de medición.

3. Para determinar el tiempo de cada medición se considera la recomendación UIT-R SM378-7, la cual indica que se debe tomar la muestra durante 2 minutos y en posición estacionaria, considerando que el analizador debe tener habilitada la opción de “MaxHold” (véase la sección 4.1).
4. Para el cálculo de la periodicidad con que se realiza cada medición se considera el estudio de Demostración de mediciones de intensidad de campo para TDT en Chile realizado por el Colegio de Ingenieros; en dicho estudio se recomienda proceder a realizar en cada punto de interés, un cuadrado de lado 10λ y realizar la medición en cada uno de los vértices de dicho cuadrado. Para nuestras mediciones, considerando que se realizaran en base al canal 25 (539MHz) y asumiendo la velocidad de la luz como velocidad de la onda, tendremos [33]

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{539000000 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{539000000 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = 0,55 \text{ mts}$$

Considerando la ecuación anterior, se tendrá que realizar mediciones en cada vértice del cuadro, cada lado de dicho cuadro tendrá 0,55m, y el centro del mismo. Si el cálculo de la varianza no supera los $5\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$, entonces se ubicara el valor obtenido en el centro de dicho cuadro fig. 4.48.

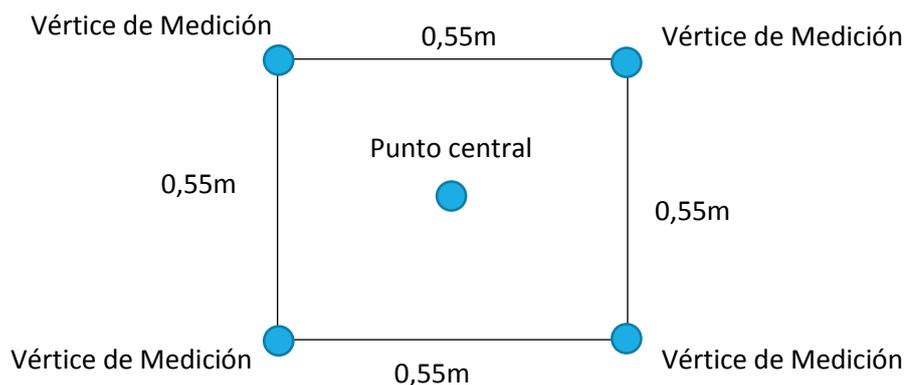


Figura 4. 48 Diagrama de medición por punto

5. Una vez definido el punto 3 y 4, se pudo determinar que para realizar el totalidad del recorrido es necesario realizar las mediciones en un intervalo de 5 horas diarias durante 7 días, considerando la movilización que se debe de hacer de un punto a otro.
6. Una vez realizado el análisis de la ubicación, tiempo y periodicidad de la medición, se procede a preparar el móvil (SACER) para realizar las mediciones pertinentes, ubicando el mástil de tal manera que se pueda levantar y bajar fácilmente en cada uno de los puntos.

4.4.2 Mediciones Estacionarias

Como se explicó en la sección anterior, se realizaron 24 puntos de medición y en cada uno de estos puntos, se tomó 5 muestras de 2 minutos cada una. Una vez que se verificaba que las mediciones cumplían con el límite de varianza entre los puntos mencionados, con respecto a la intensidad de campo, se procede a realizar la captura de 4 imágenes del analizador ETH para encontrar los valores correspondientes de cada parámetro. Dichos

parámetros se describen a continuación según lo obtenido en cada punto de la medición.

Calidad de la Imagen

Para la presente sección se procederá a indicar cuál es la calidad de imagen obtenida en cada uno de los puntos de medición, verificando mediante un receptor la señal del canal en Alta definición de la capa B y realizando una clasificación basada en 4 estados.

PUNTO DE MEDICIÓN	ESTADO DE IMAGEN DEL CANAL 25			
	OK	PIXEL	FREZZE	SIN SEÑAL
PUNTO 1 - Mucho Lote II			X	
PUNTO 2 - Centro-Sur	X			
PUNTO 3 – Atarazana	X			
PUNTO 4 - Urdesa Central	X			
PUNTO 5 – Ceibos				X
PUNTO 6 - Puertas del Sol				X
PUNTO 7 – Suburbio		X		
PUNTO 8 - La Pradera	X			
PUNTO 9 – Bellavista				X
PUNTO 10 – Casuarina		X		
PUNTO 11 – IETEL	X			
PUNTO 12 - Noguchi	X			
PUNTO 13 – Centro	X			
PUNTO 14 - Centro – Roca	X			
PUNTO 15 - Centro Tarqui	X			
PUNTO 16 - Centro – Riobamba	X			
PUNTO 17 - Centro – Oct	X			
PUNTO 18 - Centro – Rocafuerte	X			
PUNTO 19 - Centro – Aguirre	X			
PUNTO 20 - Centro – Malecón	X			
PUNTO 21 - Centro – Este	X			
PUNTO 22 - Centro – Los Ríos	X			
PUNTO 23 - Estadio Monumental				X

PUNTO 24 – Cerro Colorado				X
---------------------------	--	--	--	---

Tabla 23: Descripción Visual de la calidad de Imagen del canal 25

Es importante mencionar que se ha considerado 4 estados posibles de la recepción de imagen del canal 25, para los cuales se han determinado los siguientes criterios:

“OK”: Señal completamente demodulada y visible.

“Pixel”: Señal parcialmente demodulada, visiblemente se observan cuadros que distorsionan la imagen en distintos instantes de tiempo.

“Frezze”: Señal parcialmente demodulada, demodula la imagen una vez y esta permanece congelada por un largo intervalo de tiempo.

“Sin Señal”: Señal puede ser demodular pero la pantalla permanece en color negro.

En base a los resultados obtenidos por la verificación del estado de las imágenes (Tabla 23), se puede indicar que existen 8 zonas de la ciudad de Guayaquil en donde no se puede demodular completamente la señal del canal 25, a dichas zonas se las puede denominar como **“zonas de sombra”**. A continuación se detalla cuales son dichas zonas:

- Punto 1 – Mucho Lote
- Punto 5 – Ceibos
- Punto 6 – Puertas del Sol
- Punto 7 – Suburbio
- Punto 9 – Bellavista
- Punto 10 - Casuarina
- Punto 23 – Estadio Monumental
- Punto 24 – Cerro Colorado

La calidad de la imagen es una gran diferencia que existe entre la Televisión Digital y la Televisión Analógica, pero el comportamiento frente al ruido o interferencias, considerando como parámetro dicha calidad, difiere de igual manera entre los dos sistemas de transmisión.

Es decir que cuando se presenta ruido o interferencia en una señal de televisión analógica, se observa una degradación progresiva de la señal lo

que converge en un tono borroso o sombras de la imagen, también se puede observar líneas que se mueven a lo largo o ancho de la pantalla así como también un tono gris de la imagen.

Mientras que cuando se produce Ruido o Interferencia en un canal digital, esto conlleva a 2 situaciones, que se observen píxeles en la imagen, la imagen se congele o simplemente no se observa la pantalla negra; por lo antes mencionado, se han considerado estas características para determinar la calidad de la imagen de la tabla 23.

Las zonas antes mencionadas, serán el objetivo a cubrir con el desarrollo de la propuesta del diseño de red, que se describirá en el siguiente capítulo.

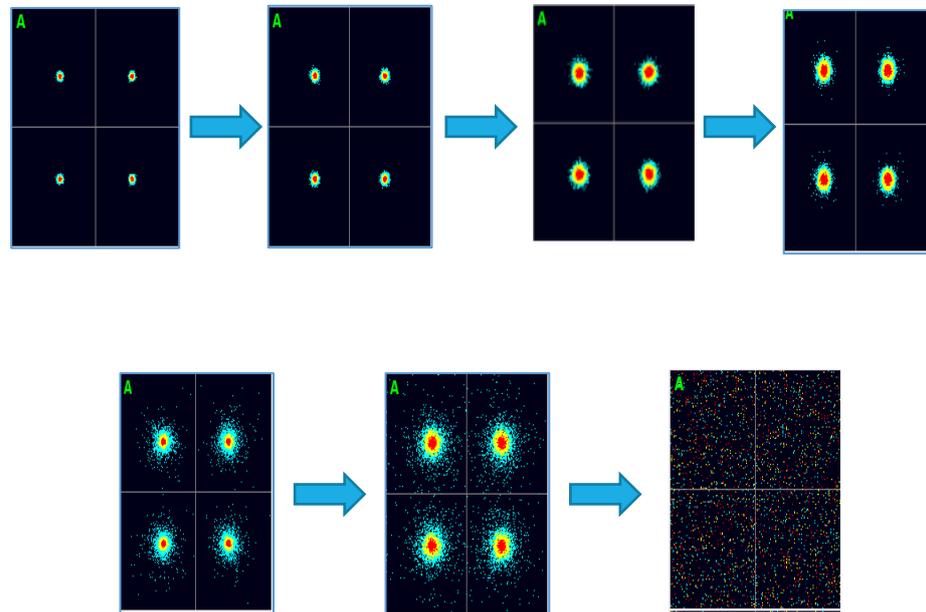
4.4.3 Diagramas de Constelación

Uno de los parámetros principales considerados para el análisis y posterior diseño de red, es la verificación del comportamiento del diagrama de Constelación de la señal en cada uno de los puntos de medición. Cabe mencionar que el Analizador ETH utilizado para realizar las mediciones pertinentes, permite verificar gráficamente el comportamiento de las siguientes capas:

- **Capa A:** corresponde al segmento “one seg” para el canal móvil, el cual opera con modulación QPSK.
- **Capa B:** corresponde al canal en alta definición, el cual opera con modulación 64QAM.
- **Capa C:** Actualmente el canal 25 no transmite segmentos en dicha capa.
- **Sumatoria de Capas:** presenta gráficamente la sumatoria del diagrama de constelación de cada una de las capas antes mencionadas.

En las mencionadas mediciones, además de observar el diagrama de constelación de cada punto, se podrá observar otros parámetros de medición, como el MER, BER, la potencia de recepción de la señal (dBm), el intervalo de guarda configurado en el transmisor y el Modo de operación. Es importante mencionar que mientras más errores existan en la recepción

de la señal, los símbolos de la constelación tienden a tomar una coloración amarilla y roja, tal como se indica en la siguiente figura:



Proceso de degradación de la señal recibida debido al aumento de la

Figura 4. 49 Degradación de la señal en Diagrama de Constelación

A continuación se presentará los resultados obtenidos en cada uno de los puntos de medición en relación al Diagrama de constelación del canal 25:

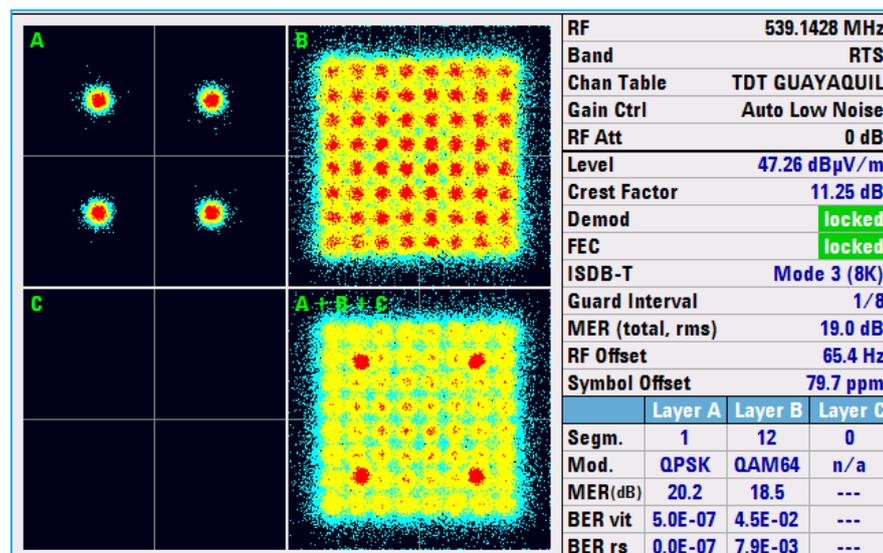


Figura 4. 50 Diagrama de constelación del punto 1.

En el diagrama de constelación del punto 1 se puede apreciar que existe errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal, a pesar que es demodulada, se congela en intervalos de tiempo prolongados tal como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 65,4Hz y la desviación es de 79,7ppm.

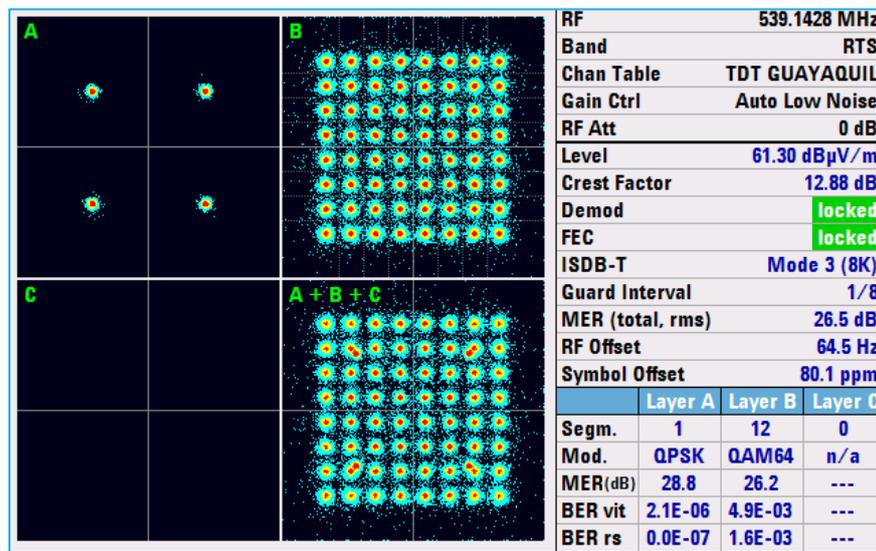


Figura 4. 51 Diagrama de constelación del punto 2.

En el diagrama de constelación del punto 2 se puede apreciar que existen un nivel muy bajo de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal puede ser demodulada sin inconvenientes como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 64,5Hz y la desviación es de 80,1ppm.

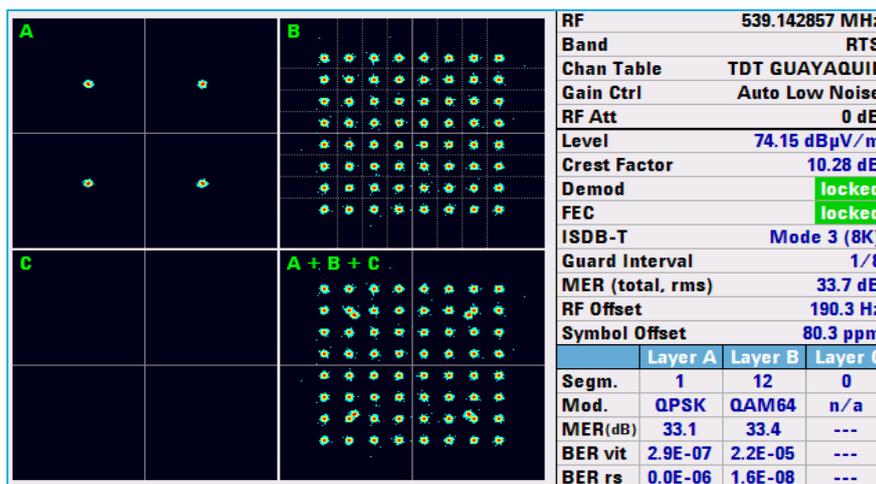


Figura 4. 52 Diagrama de constelación del punto 3.

En el diagrama de constelación del punto 3 se puede apreciar que existen un nivel muy bajo de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal puede ser demodulada sin inconvenientes como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 190,3Hz y la desviación es de 80,3ppm.



Figura 4. 53 Diagrama de constelación del punto 4.

En el diagrama de constelación del punto 4 se puede apreciar que existen un nivel muy bajo de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal puede ser demodulada sin inconvenientes como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 190,3Hz y la desviación es de 80,3ppm.

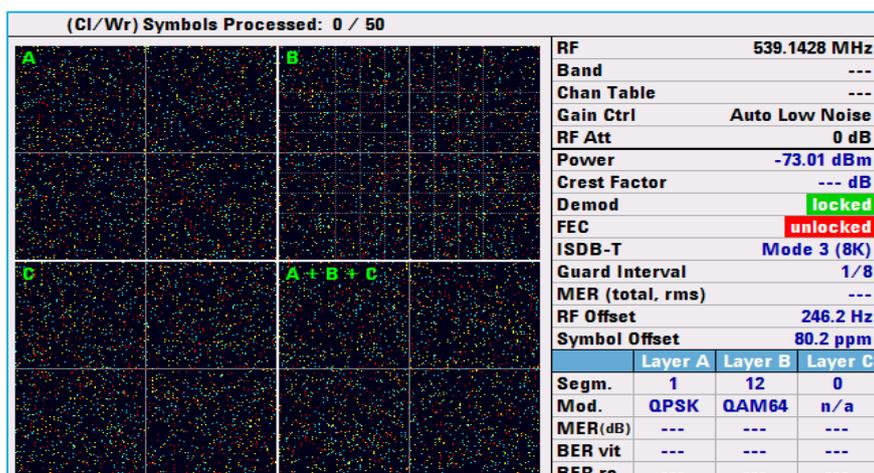


Figura 4. 54 Diagrama de constelación del punto 5.

En el diagrama de constelación del punto 5 se puede apreciar que la señal no puede ser demodulada, por lo tanto no se detecta la imagen tal como se indica en la Tabla 23.

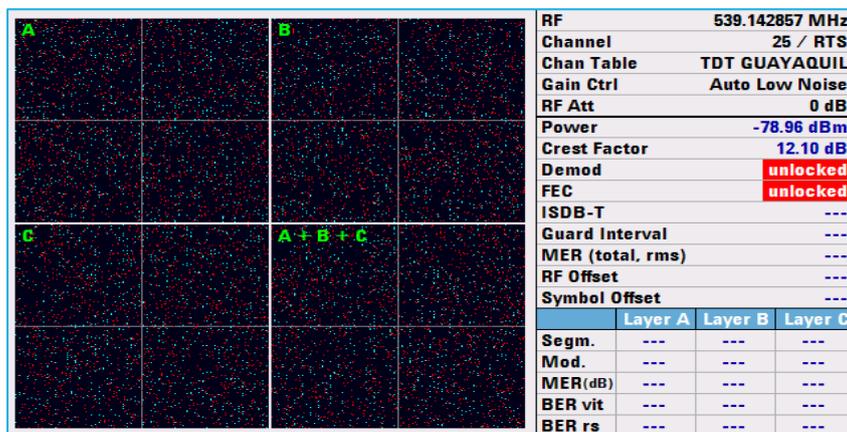


Figura 4. 55 Diagrama de constelación del punto 6.

En el diagrama de constelación del punto 6 se puede apreciar que la señal no puede ser demodulada, por lo tanto no se detecta la imagen tal como se indica en la Tabla 23.

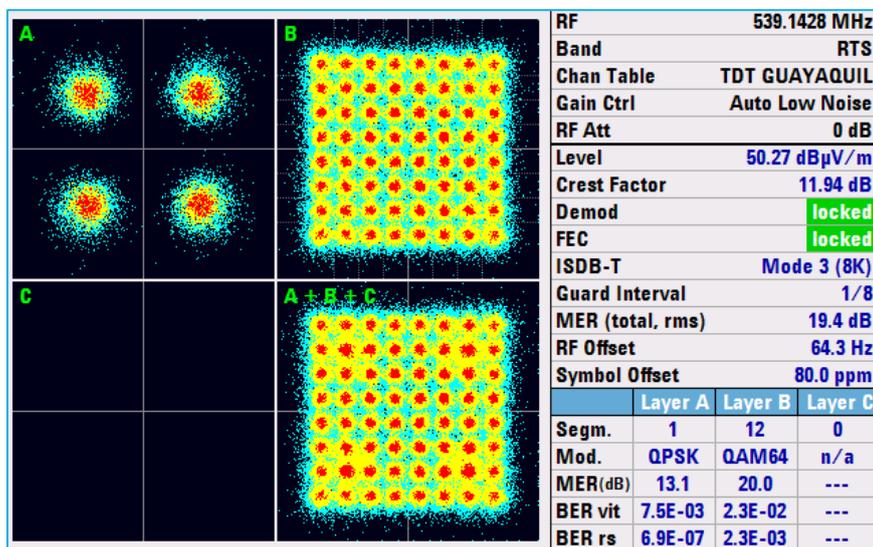


Figura 4. 56 Diagrama de constelación del punto 7.

En el diagrama de constelación del punto 7 se puede apreciar que existe un alto nivel de errores en la recepción de la señal, lo cual produce que dicha señal se observe con pixeles constantemente tal como se indica en la Tabla

23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 64,3Hz y la desviación es de 80.0ppm.

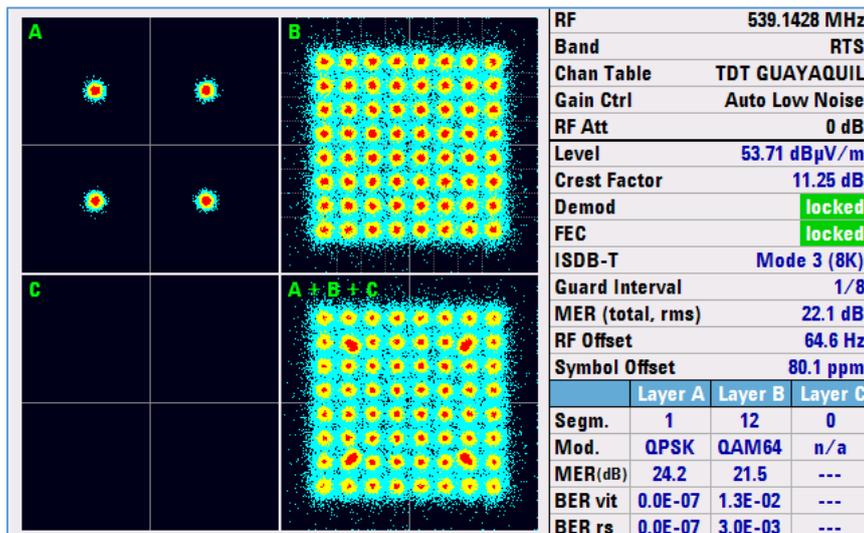


Figura 4. 57 Diagrama de constelación del punto 8.

En el diagrama de constelación del punto 8 se puede apreciar que existe un bajo nivel de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal se puede observar con total normalidad tal como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 64,6Hz y la desviación es de 80,1ppm.

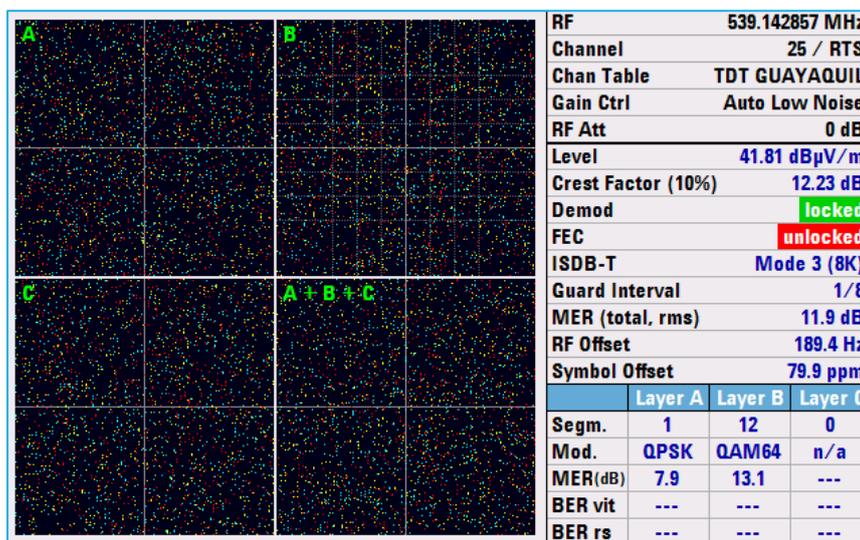


Figura 4. 58 Diagrama de constelación del punto 9.

En el diagrama de constelación del punto 9 se puede apreciar que la señal no puede ser demodulada, por lo tanto no se detecta la imagen tal como se indica en la Tabla 23.

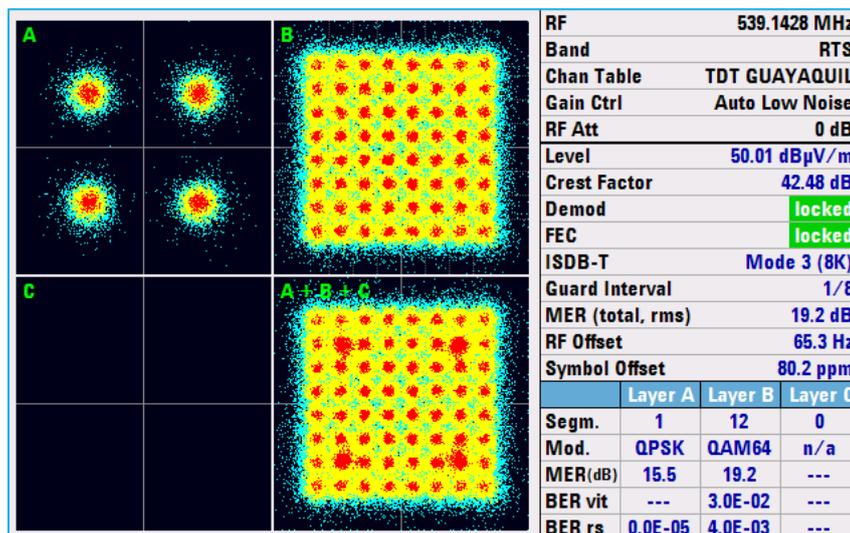


Figura 4. 59 Diagrama de constelación del punto 10.

En el diagrama de constelación del punto 10 se puede apreciar que existe un alto nivel de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal a pesar de ser demodulada, presenta constante pixeles en la imagen tal como se observa en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 65,3Hz y la desviación es de 80,2ppm.



Figura 4. 60 Diagrama de constelación del punto 11.

En el diagrama de constelación del punto 11 se puede apreciar que existen un nivel muy bajo de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha

señal puede ser demodulada sin inconvenientes como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 243,4Hz y la desviación es de 80,4ppm.

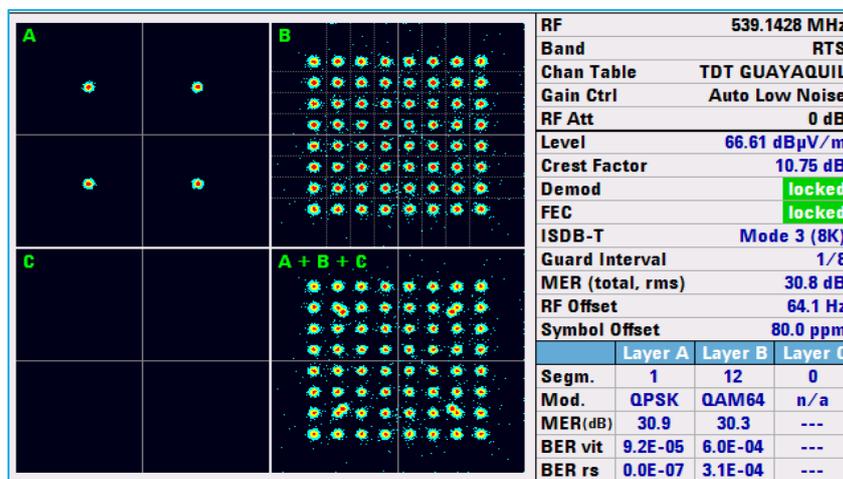


Figura 4. 61 Diagrama de constelación del punto 12.

En el diagrama de constelación del punto 12 se puede apreciar que existen un nivel muy bajo de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal puede ser demodulada sin inconvenientes como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 64,1Hz y la desviación es de 80ppm.

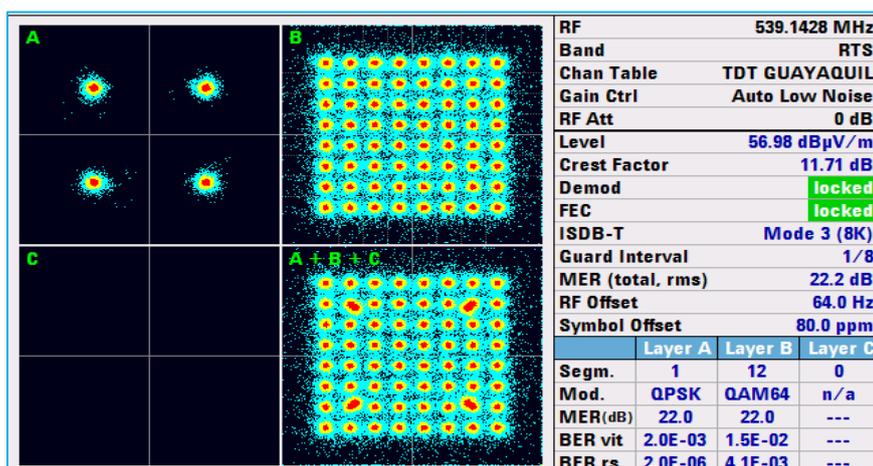


Figura 4. 62 Diagrama de constelación del punto 13.

En el diagrama de constelación del punto 13 se puede apreciar que existen un nivel muy bajo de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal puede ser demodulada sin inconvenientes como se indica en la Tabla

23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 64Hz y la desviación es de 80.0ppm.

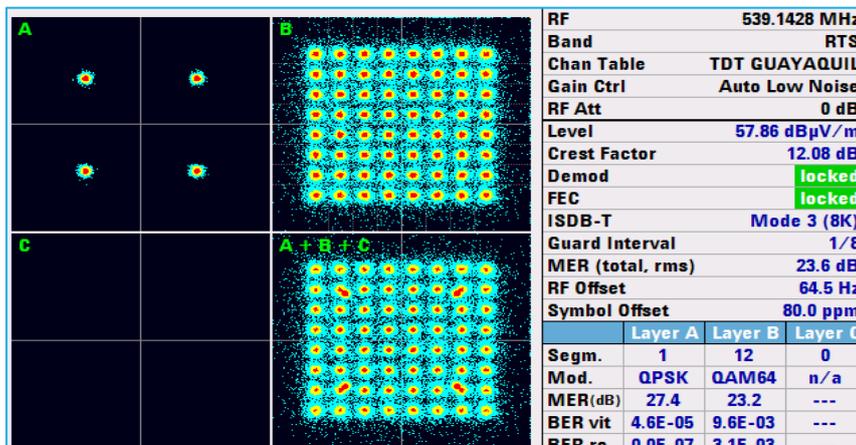


Figura 4. 63 Diagrama de constelación del punto 14.

En el diagrama de constelación del punto 14 se puede apreciar que existen un nivel muy bajo de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal puede ser demodulada sin inconvenientes como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 64,5Hz y la desviación es de 80.0ppm.

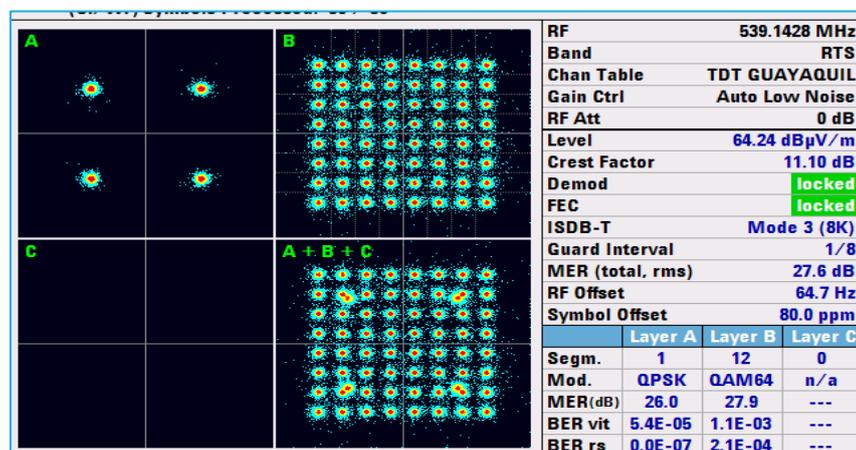


Figura 4. 64 Diagrama de constelación del punto 15.

En el diagrama de constelación del punto 15 se puede apreciar que existen un nivel muy bajo de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal puede ser demodulada sin inconvenientes como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 64,7Hz y la desviación es de 80.0ppm.

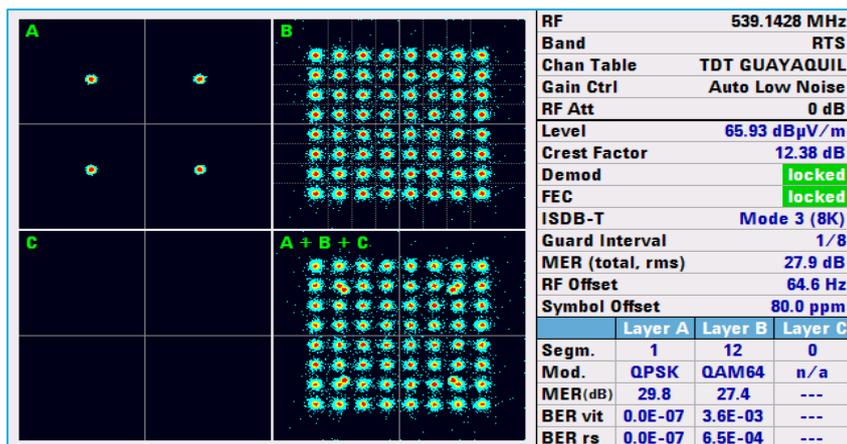


Figura 4. 65 Diagrama de constelación del punto 16.

En el diagrama de constelación del punto 16 se puede apreciar que existen un nivel muy bajo de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal puede ser demodulada sin inconvenientes como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 64,6Hz y la desviación es de 80,0ppm.

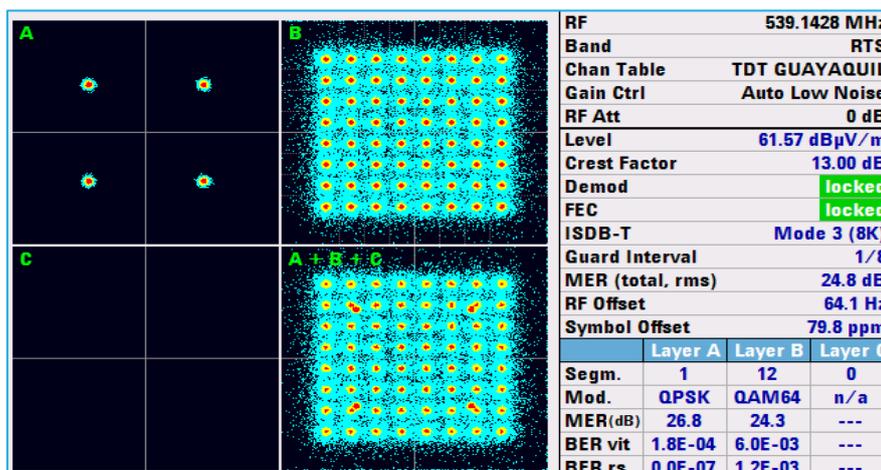


Figura 4. 66 Diagrama de constelación del punto 17.

En el diagrama de constelación del punto 17 se puede apreciar que existen un nivel medio de errores en la recepción de la señal, a pesar de lo indicado se puede demodular la señal y observar la imagen como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 64,1Hz y la desviación es de 79,8ppm.

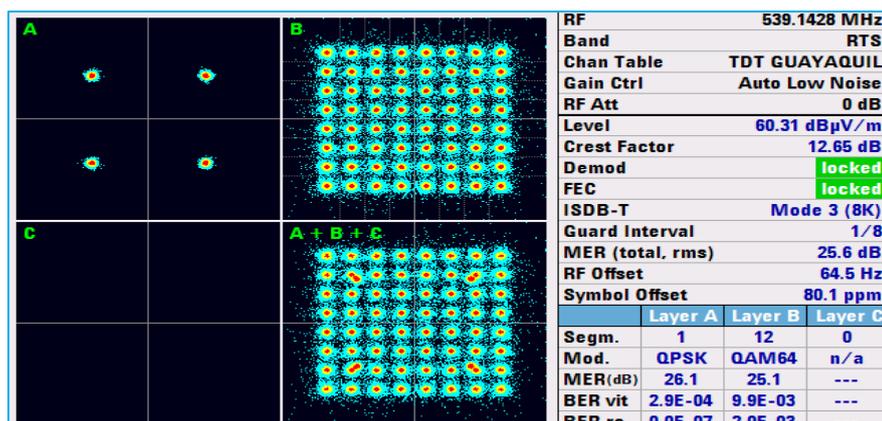


Figura 4. 67 Diagrama de constelación del punto 18.

En el diagrama de constelación del punto 18 se puede apreciar que existen un nivel muy bajo de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal puede ser demodulada sin inconvenientes como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 64,5Hz y la desviación es de 80,1ppm.

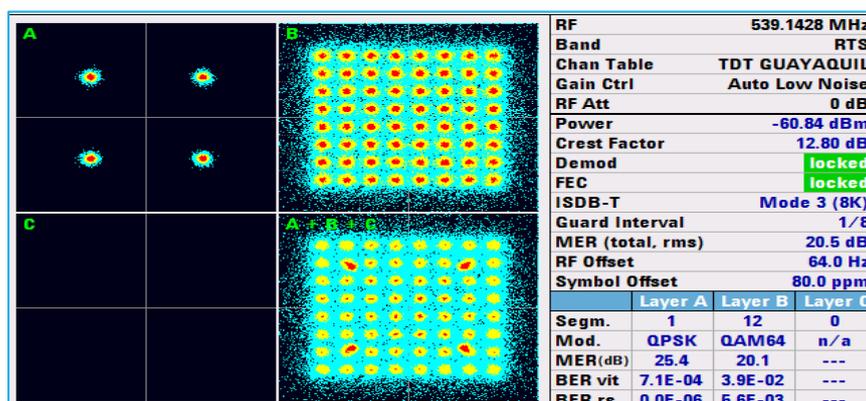


Figura 4. 68 Diagrama de constelación del punto 19.

En el diagrama de constelación del punto 19 se puede apreciar que existen un nivel medio de errores en la recepción de la señal, a pesar de lo indicado se puede demodular la señal y observar la imagen como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 64,0Hz y la desviación es de 80,0ppm.

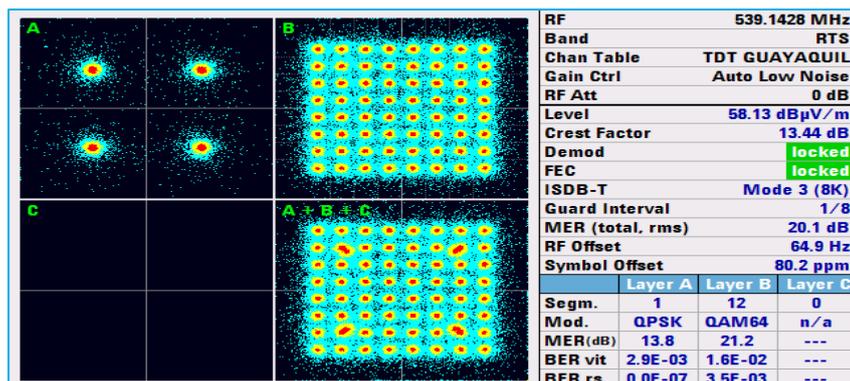


Figura 4. 69 Diagrama de constelación del punto 20.

En el diagrama de constelación del punto 20 se puede apreciar que existen un nivel medio de errores en la recepción de la señal, a pesar de lo indicado se puede demodular la señal y observar la imagen como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 60,4Hz y la desviación es de 80,0ppm.

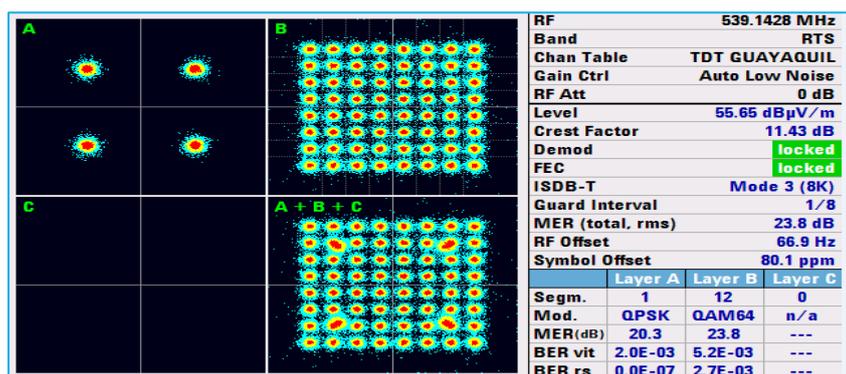


Figura 4. 70 Diagrama de constelación del punto 21.

En el diagrama de constelación del punto 21 se puede apreciar que existen un nivel muy bajo de errores en la recepción de la señal, por lo tanto dicha señal puede ser demodulada sin inconvenientes como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 66,9Hz y la desviación es de 80,1ppm.

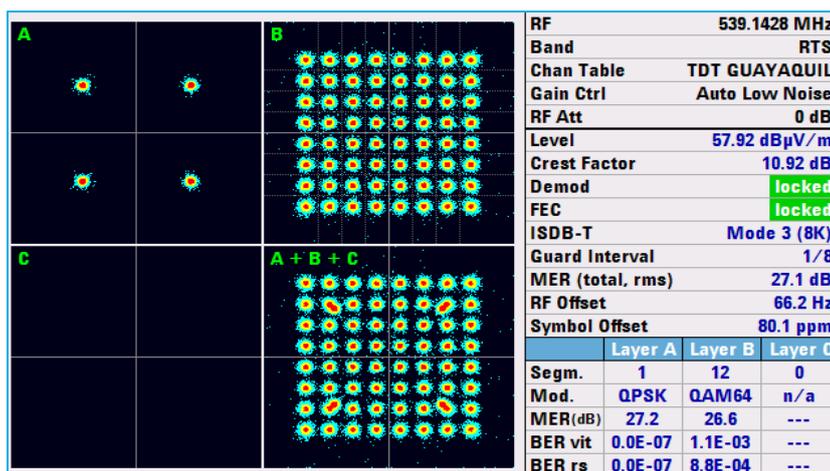


Figura 4. 71 Diagrama de constelación del punto 22

En el diagrama de constelación del punto 22 se puede apreciar que existen un nivel medio de errores en la recepción de la señal, a pesar de lo indicado se puede demodular la señal y observar la imagen como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 66,2Hz y la desviación es de 80,1ppm.

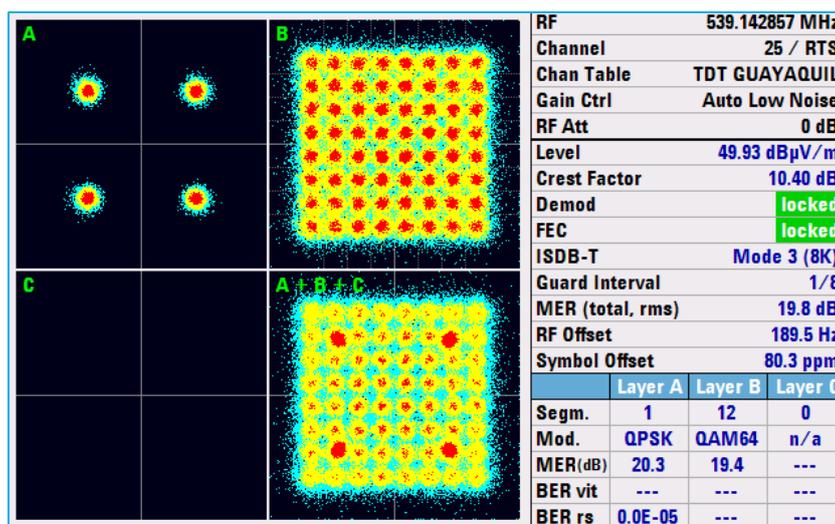


Figura 4. 72 Diagrama de constelación del punto 23.

En el diagrama de constelación del punto 23 se puede apreciar que existen un alto nivel de errores en la recepción de la señal, a pesar de lo indicado se puede demodular la señal, pero no se puede observar la imagen tal como se indica en la Tabla 23, así mismo se puede observar que el offset de la señal es de 189,5Hz y la desviación es de 80,3ppm.

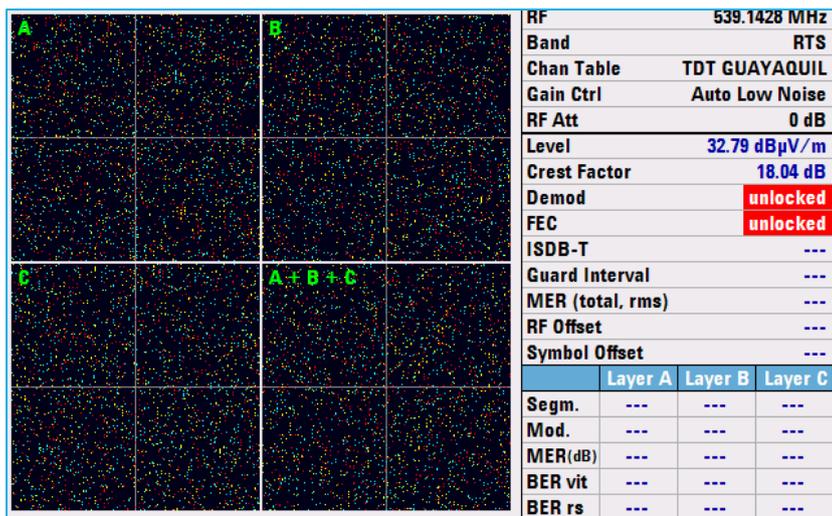


Figura 4. 73 Diagrama de constelación del punto 24.

En el diagrama de constelación del punto 24 se puede apreciar que la señal no puede ser demodulada, por lo tanto no se detecta la imagen tal como se indica en la Tabla 23.

4.4.4 Intervalo de Guarda

En la presente sección, se presenta los resultados obtenidos de cada uno de los puntos de medición en relación al parámetro del intervalo de guarda, obtenido de las capturas realizadas por el Analizador ETH.

En las mencionadas capturas, se podrá observar el valor del intervalo de guarda configurado por el transmisor que es de 1/8, así como otros parámetros que se analizarán más adelante.

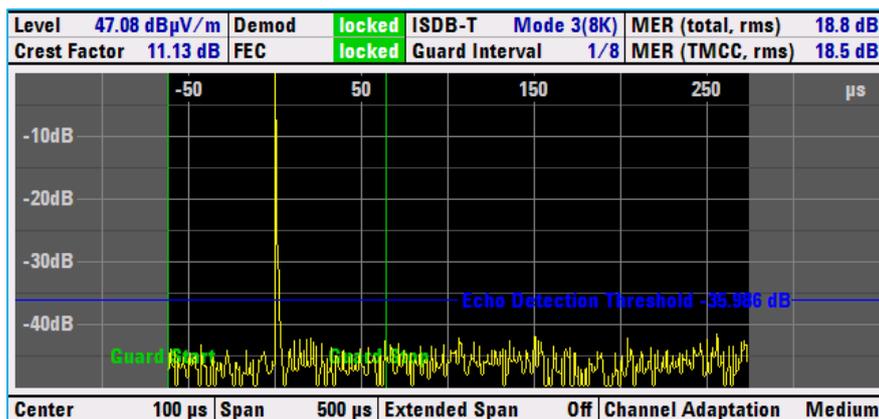


Figura 4. 74 Intervalo de Guarda del punto 1.

Según la medición realizada en el punto 1, se puede determinar que las señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -35dB, se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

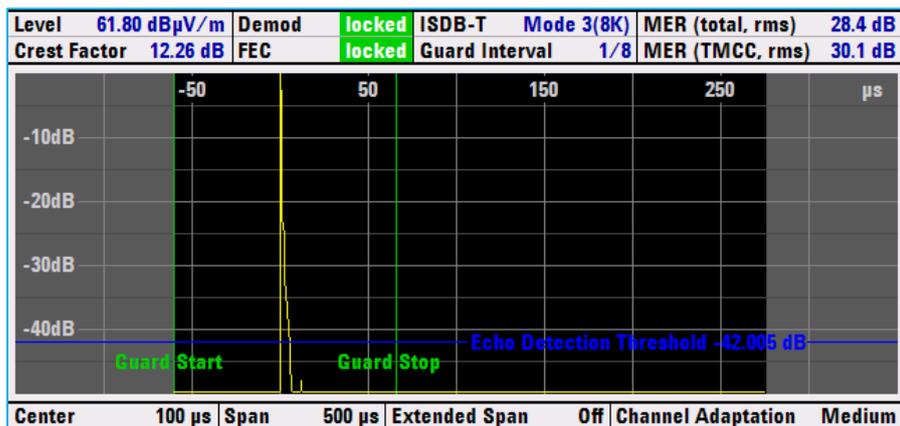


Figura 4. 75 Intervalo de Guarda del punto 2.

Según la medición realizada en el punto 2, se puede determinar que son muy pocas las señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -42dB, las cuales se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

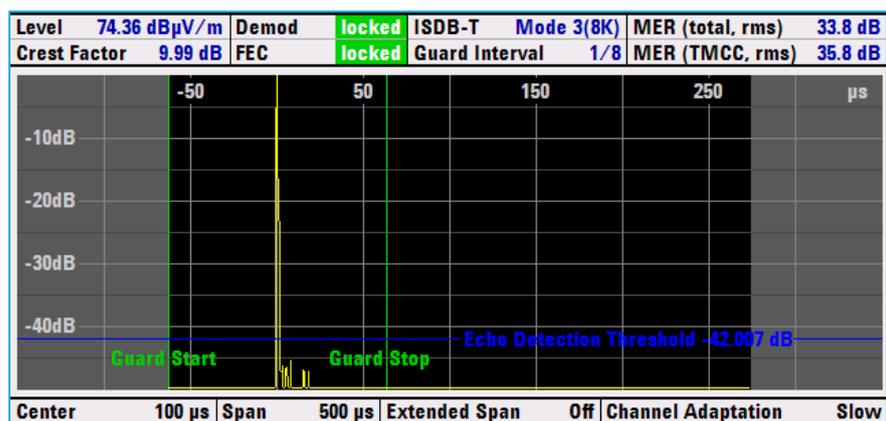


Figura 4. 76 Intervalo de Guarda del punto 3.

Según la medición realizada en el punto 3, se puede determinar que las señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -42dB, se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

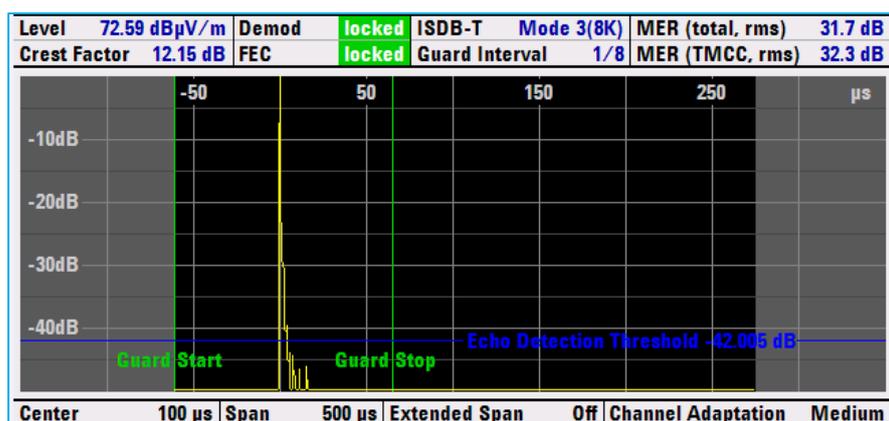


Figura 4. 77 Intervalo de Guarda del punto 4.

Según la medición realizada en el punto 4, se puede determinar que las señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -42dB, se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

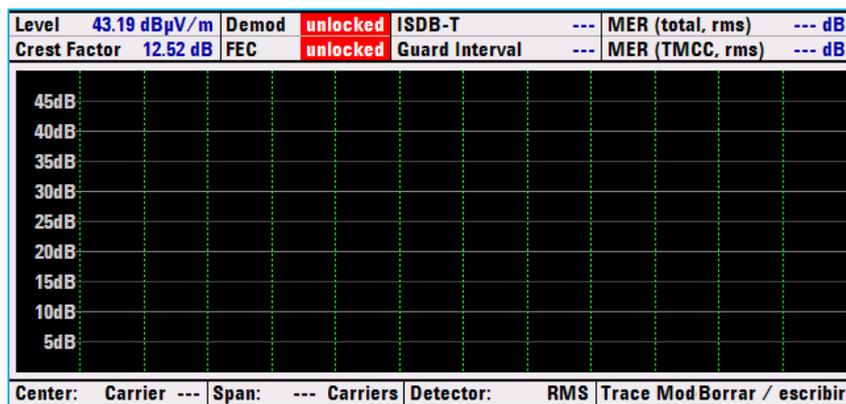


Figura 4. 78 Intervalo de Guarda del punto 5.

Según la medición realizada en el punto 5, no se puede obtener datos del intervalo de guarda, debido a que la señal no puede ser demodulada por la cantidad de errores.

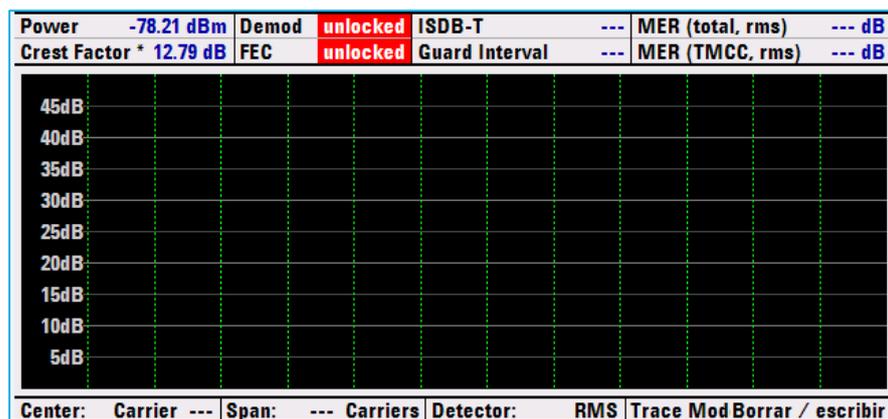


Figura 4. 79 Intervalo de Guarda del punto 6.

Según la medición realizada en el punto 6, no se puede obtener datos del intervalo de guarda, debido a que la señal no puede ser demodulada por la cantidad de errores.

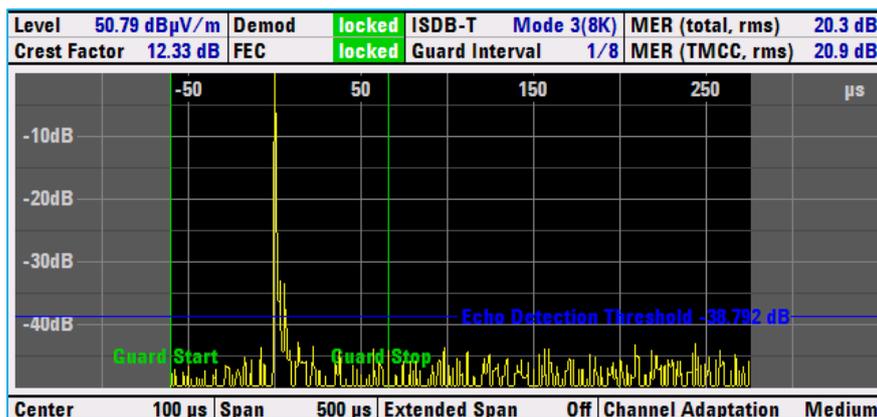


Figura 4. 80 Intervalo de Guarda del punto 7.

Según la medición realizada en el punto 7, se puede determinar que existen señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -38dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor, a pesar de ello, también se aprecia que existe un piso de ruido elevado en el sector de la medición.

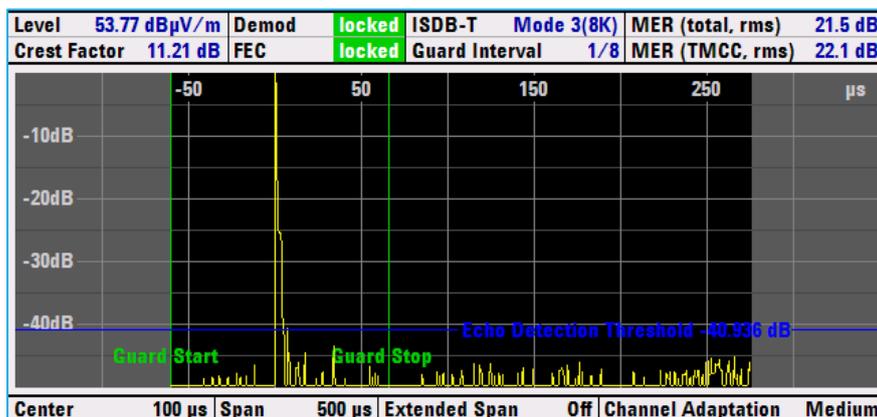


Figura 4. 81 Intervalo de Guarda del punto 8.

Según la medición realizada en el punto 8, se puede determinar que existen pocas señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -40dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

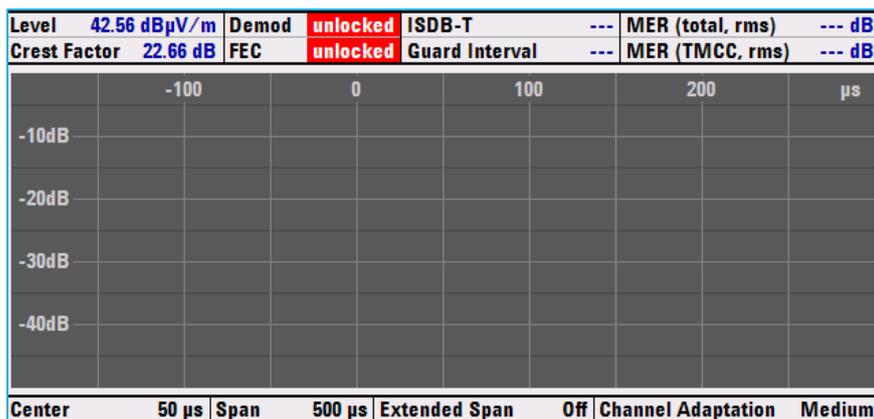


Figura 4. 82 Intervalo de Guarda del punto 9.

Según la medición realizada en el punto 9, no se puede obtener datos del intervalo de guarda, debido a que la señal no puede ser demodulada por la cantidad de errores.

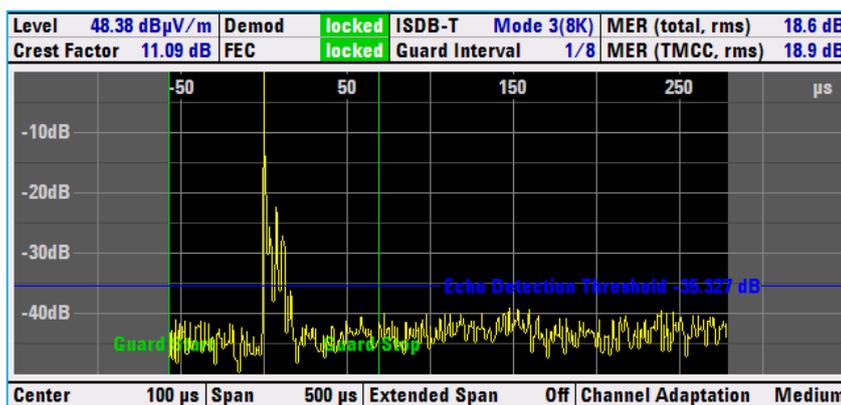


Figura 4. 83 Intervalo de Guarda del punto 10.

Según la medición realizada en el punto 10, se puede determinar que existen señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -35dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor, a pesar de ello, también se aprecia que existe un piso de ruido elevado en el sector de la medición.

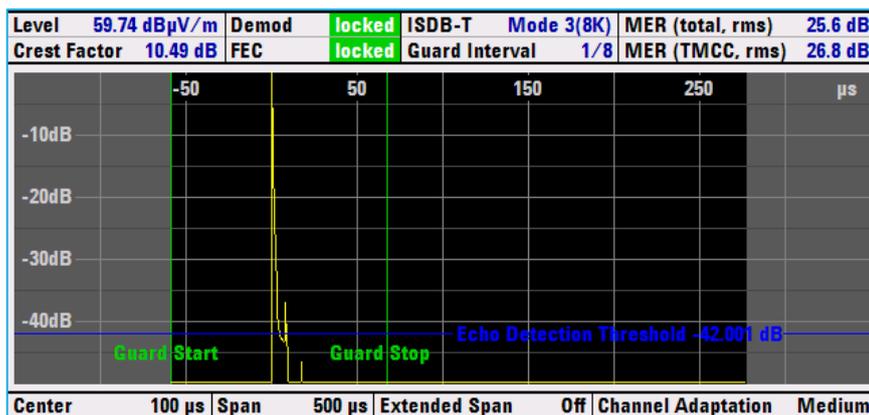


Figura 4. 84 Intervalo de Guarda del punto 11.

Según la medición realizada en el punto 11, se puede determinar que existen muy pocas señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -42dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

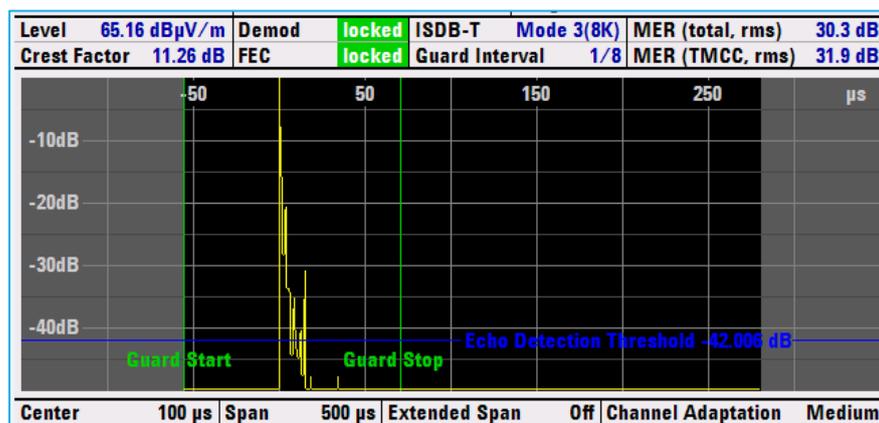


Figura 4. 85 Intervalo de Guarda del punto 12.

Según la medición realizada en el punto 12, se puede determinar que existen varias señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -36dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

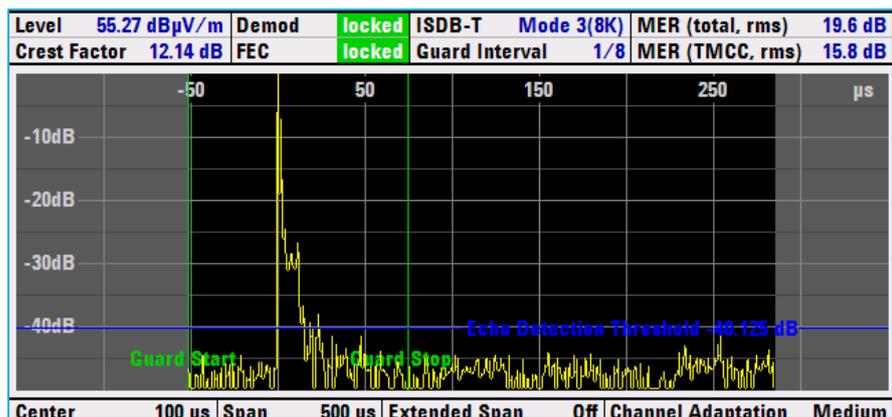


Figura 4. 86 Intervalo de Guarda del punto 13.

Según la medición realizada en el punto 13, se puede determinar que existen varias señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -40dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor, a pesar de ello, también se aprecia que existe un piso de ruido elevado en el sector de la medición.

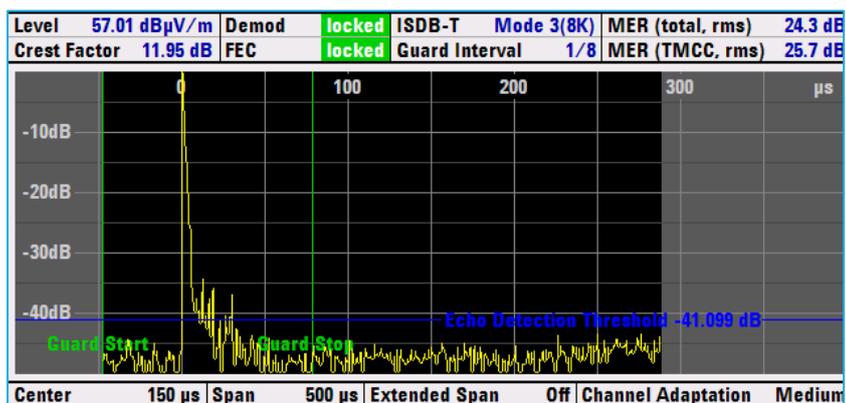


Figura 4. 87 Intervalo de Guarda del punto 14.

Según la medición realizada en el punto 14, se puede determinar que existen varias señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -41dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor, a pesar de ello, también se aprecia que existe un piso de ruido elevado en el sector de la medición.

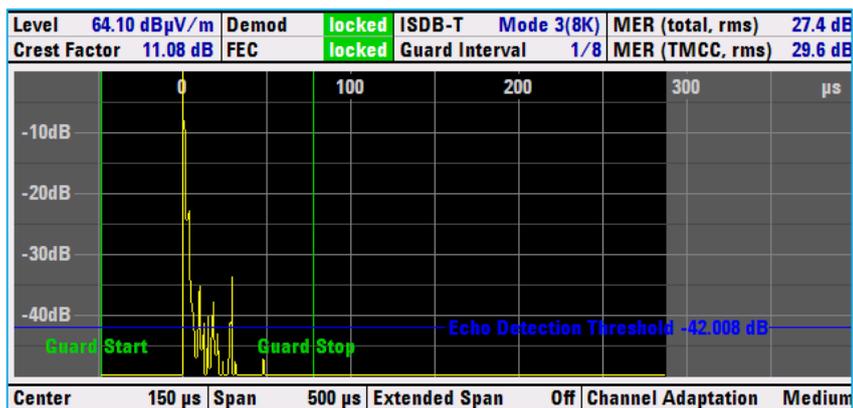


Figura 4. 88 Intervalo de Guarda del punto 15.

Según la medición realizada en el punto 15, se puede determinar que existen varias señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -42dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

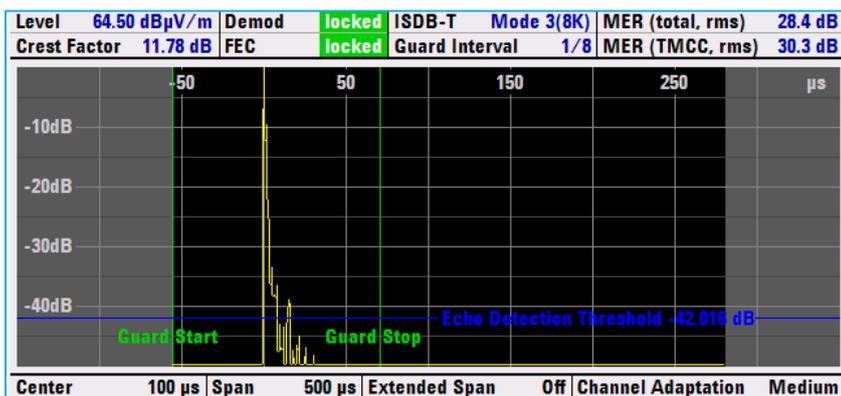


Figura 4. 89 Intervalo de Guarda del punto 16.

Según la medición realizada en el punto 16, se puede determinar que existen varias señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -42dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

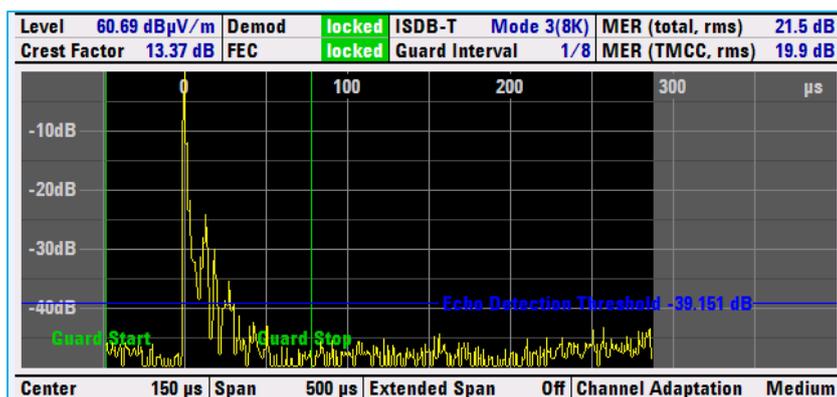


Figura 4. 90 Intervalo de Guarda del punto 17.

Según la medición realizada en el punto 17, se puede determinar que existen varias señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -39dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

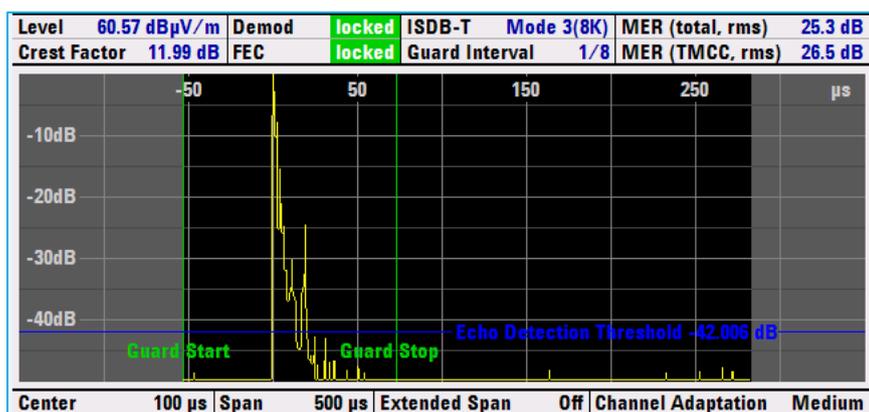


Figura 4. 91 Intervalo de Guarda del punto 18

Según la medición realizada en el punto 18, se puede determinar que existen varias señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -42dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

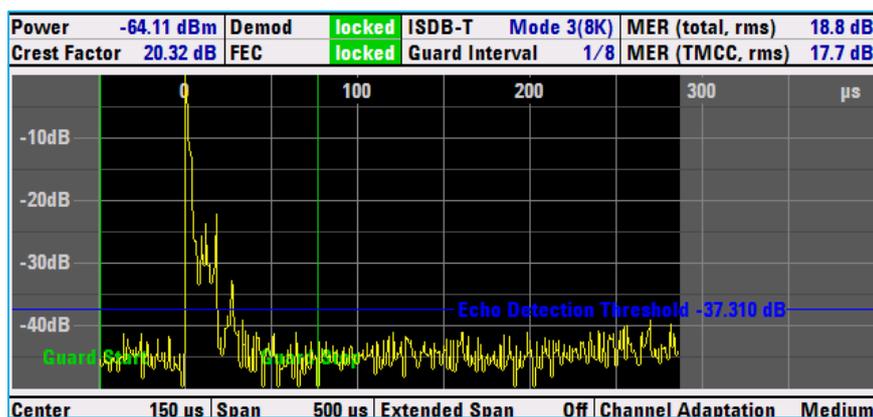


Figura 4. 92 Intervalo de Guarda del punto 19.

Según la medición realizada en el punto 19, se puede determinar que existen varias señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -37dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor, a pesar de ello, también se aprecia que existe un piso de ruido elevado en el sector de la medición.

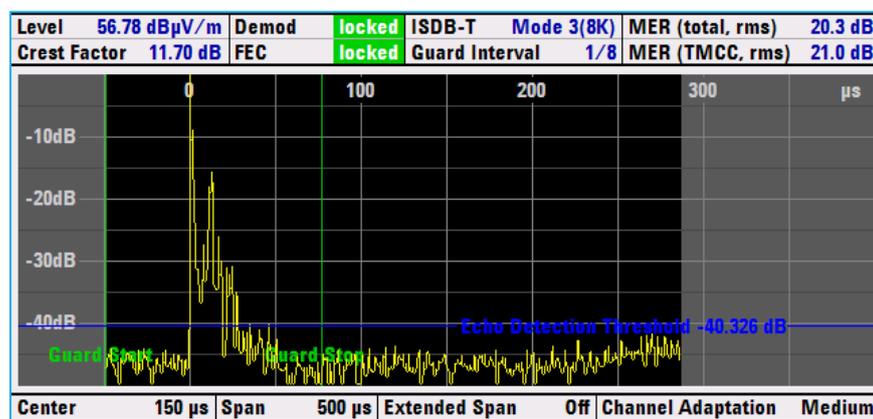


Figura 4. 93 Intervalo de Guarda del punto 20.

Según la medición realizada en el punto 20, se puede determinar que existen varias señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -40dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor, a pesar de ello, también se aprecia que existe un piso de ruido elevado en el sector de la medición.

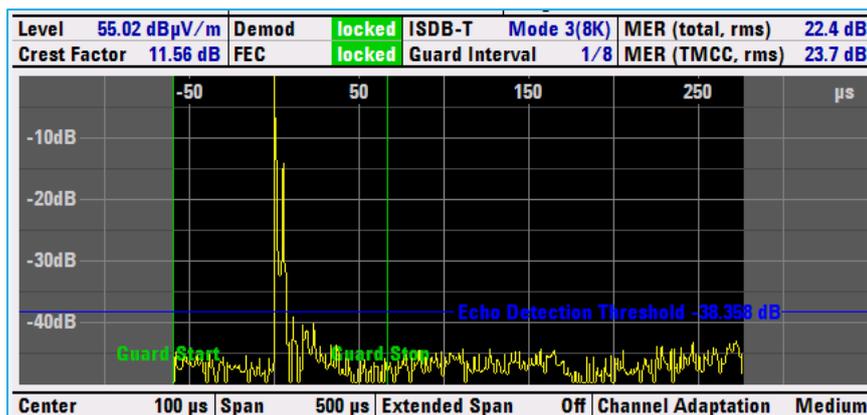


Figura 4. 94 Intervalo de Guarda del punto 21.

Según la medición realizada en el punto 21, se puede determinar que existen pocas señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -40dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

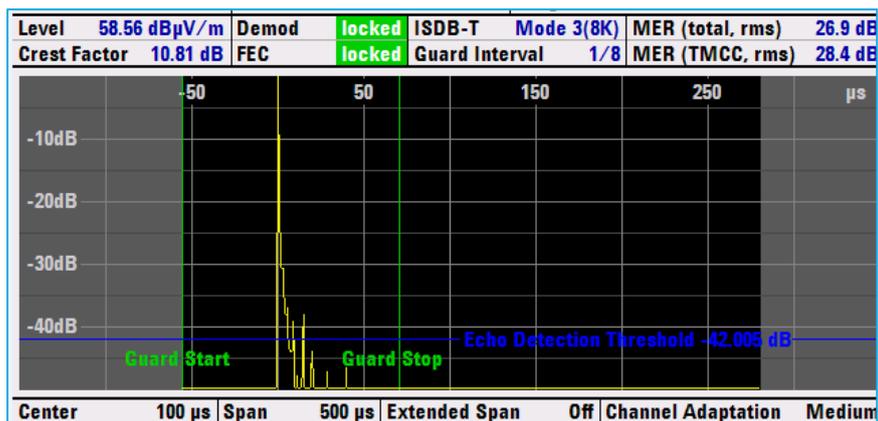


Figura 4. 95 Intervalo de Guarda del punto 22.

Según la medición realizada en el punto 22, se puede determinar que existen pocas señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -41dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor.

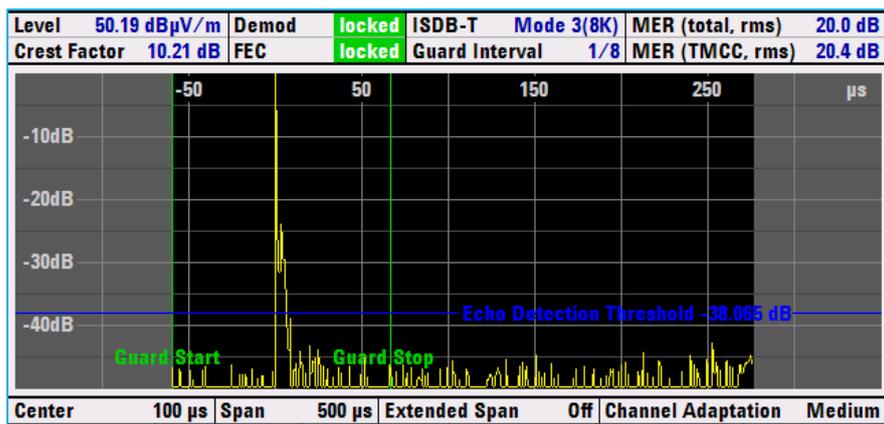


Figura 4. 96 Intervalo de Guarda del punto 23.

Según la medición realizada en el punto 23, se puede determinar que existen varias señales recibidas por multicamino, considerando un nivel mínimo de detección de -38dB, que se encuentran dentro del intervalo de guarda configurado en el transmisor, a pesar de ello, también se aprecia que existe un piso de ruido elevado en el sector de la medición.

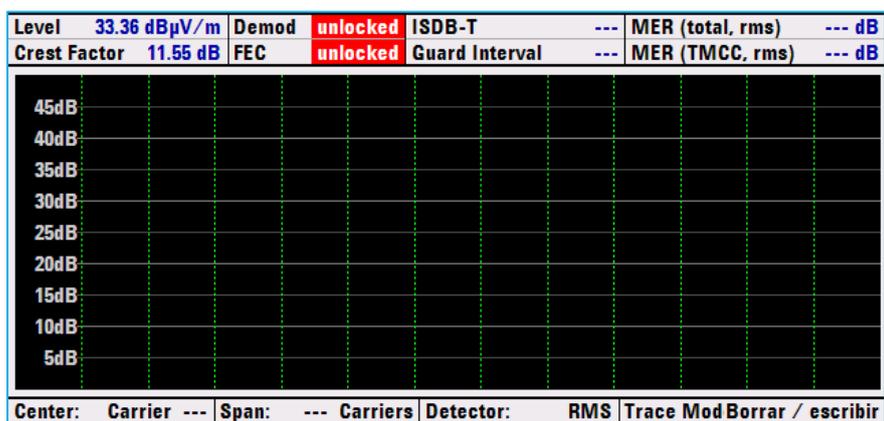


Figura 4. 97 Intervalo de Guarda del punto 24.

Según la medición realizada en el punto 24, no se puede obtener datos del intervalo de guarda, debido a que la señal no puede ser demodulada por la cantidad de errores.

4.4.5 MER, BER y Potencia de Recepción

En la presente sección se detallara los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en cada punto, en base a lo observado en el analizador ETH:

Measurement Parameter				
Level	47.46 dB μ V/m	Crest Factor	10.46 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	19.5 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-5.8 dB	
RF Offset	65.8 Hz	MER TMCC	19.7 dB	
Symbol Rate Offset	81.0 ppm	MER AC	17.5 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	20.9	19.0	---	dB
BER before Viterbi	5.2E-07	3.5E-02	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	7.4E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-06	2.8E-04	---	
Packet Errors	0	270	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980360	---	Mbit/s

Figura 4. 98 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 1, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 19,5dB y una intensidad de campo eléctrico de 47,46dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -68,79dBm.

Measurement Parameter				
Level	60.33 dB μ V/m	Crest Factor	11.90 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	27.2 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-5.0 dB	
RF Offset	64.7 Hz	MER TMCC	29.4 dB	
Symbol Rate Offset	80.0 ppm	MER AC	21.3 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	27.9	27.0	---	dB
BER before Viterbi	2.1E-06	3.5E-03	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	2.2E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-06	4.6E-07	---	
Packet Errors	0	0	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980346	---	Mbit/s

Figura 4. 99 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 2, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 27,2dB y una intensidad de campo eléctrico de 60,33dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -54,22dBm.

Measurement Parameter				
Level	50.69 dB μ V/m	Crest Factor	12.41 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	17.9 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-5.8 dB	
RF Offset	190.4 Hz	MER TMCC	17.1 dB	
Symbol Rate Offset	80.4 ppm	MER AC	16.7 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	12.5	19.0	---	dB
BER before Viterbi	6.2E-03	3.3E-02	---	
BER before Reed Solomon	2.6E-06	8.6E-04	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-06	2.0E-06	---	
Packet Errors	0	0	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980351	---	Mbit/s

Figura 4. 100 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 3, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 17,9dB y una intensidad de campo eléctrico de 50,69dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -41,42dBm.

Measurement Parameter				
Level	71.57 dB μ V/m	Crest Factor	11.36 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	32.4 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	6.8 dB	
RF Offset	193.0 Hz	MER TMCC	33.5 dB	
Symbol Rate Offset	80.4 ppm	MER AC	33.5 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	32.3	31.8	---	dB
BER before Viterbi	0.0E-07	3.4E-04	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	1.6E-05	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-06	0.0E-07	---	
Packet Errors	0	0	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980351	---	Mbit/s

Figura 4. 101 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 4, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 32,4 dB y una intensidad de campo eléctrico de 71,57 dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -46,58 dBm.

Level		43.40 dB μ V/m	Crest Factor (90%)		12.13 dB
OFDM Demodulator	unlocked		FEC Decoder	unlocked	
ISDB-T Mode	---				
Guard Interval	---		MER (total,rms)	---	
Sideband Position	---		MER (total,peak)	---	
RF Offset	---		MER TMCC	---	
Symbol Rate Offset	---		MER AC	---	
	Layer A		Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	---		---	---	dB
BER before Viterbi	---		---	---	
BER before Reed Solomon	---		---	---	
BER after Reed Solomon	---		---	---	
Packet Errors	---		---	---	/s
MPEG TS Bitrate	---		---	---	Mbit/s

Figura 4. 102 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 5, se puede observar que no es posible determinar el valor del MER (total) debido a que no es posible demodular la señal; a pesar de ello, se puede observar que la señal se detecta con una intensidad de campo eléctrico de 71,57dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -73,33dBm.

Measurement Parameter					
Level	38.54 dB μ V/m	Crest Factor		12.21 dB	
OFDM Demodulator	unlocked	FEC Decoder		unlocked	
ISDB-T Mode	---				
Guard Interval	---		MER (total,rms)	---	
Sideband Position	---		MER (total,peak)	---	
RF Offset	---		MER TMCC	---	
Symbol Rate Offset	---		MER AC	---	
	Layer A	Layer B	Layer C		
MER (Layer,rms)	---	---	---		dB
BER before Viterbi	---	---	---		
BER before Reed Solomon	---	---	---		
BER after Reed Solomon	---	---	---		
Packet Errors	---	---	---		/s
MPEG TS Bitrate	---	---	---		Mbit/s

Figura 4. 103 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 6, se puede observar que no es posible determinar el valor del MER (total) debido a que no es posible demodular la señal; a pesar de ello, se puede observar que la señal se detecta con una intensidad de campo eléctrico de 38,54dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -82,11dBm.

Measurement Parameter				
Level	50.29 dB μ V/m	Crest Factor	11.51 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	18.9 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-5.9 dB	
RF Offset	63.5 Hz	MER TMCC	19.1 dB	
Symbol Rate Offset	80.0 ppm	MER AC	19.2 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	11.9	19.9	---	dB
BER before Viterbi	2.0E-02	2.2E-02	---	
BER before Reed Solomon	1.5E-06	2.8E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	7.7E-06	---	
Packet Errors	0	2	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980346	---	Mbit/s

Figura 4. 104 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 7, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 18,9dB y una intensidad de campo eléctrico de 50,29dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -66,63dBm.

Measurement Parameter				
Level	52.81 dB μ V/m	Crest Factor	11.66 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	19.5 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-5.9 dB	
RF Offset	64.4 Hz	MER TMCC	17.7 dB	
Symbol Rate Offset	80.0 ppm	MER AC	15.7 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	24.5	19.3	---	dB
BER before Viterbi	0.0E-07	3.5E-02	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	4.4E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	2.4E-05	---	
Packet Errors	0	115	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980346	---	Mbit/s

Figura 4. 105 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 8, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 19,5dB y una intensidad de campo eléctrico de 52.81dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -64.51dBm.

Measurement Parameter				
Level	41.75 dB μ V/m	Crest Factor	11.82 dB	
OFDM Demodulator	unlocked	FEC Decoder	unlocked	
ISDB-T Mode	---	MER (total,rms)	---	
Guard Interval	---	MER (total,peak)	---	
Sideband Position	---	MER TMCC	---	
RF Offset	---	MER AC	---	
Symbol Rate Offset	---			
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	---	---	---	dB
BER before Viterbi	---	---	---	
BER before Reed Solomon	---	---	---	
BER after Reed Solomon	---	---	---	
Packet Errors	---	---	---	/s
MPEG TS Bitrate	---	---	---	Mbit/s

Figura 4. 106 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 9, se puede observar que no es posible determinar el valor del MER (total) debido a que no es posible demodular la señal; a pesar de ello, se puede observar que la señal se detecta con una intensidad de campo eléctrico de 41,75dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -72,91dBm.

Measurement Parameter				
Level	47.86 dB μ V/m	Crest Factor	13.21 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)	MER (total,rms)	17.6 dB	
Guard Interval	1/8	MER (total,peak)	-5.1 dB	
Sideband Position	normal	MER TMCC	17.0 dB	
RF Offset	65.6 Hz	MER AC	15.8 dB	
Symbol Rate Offset	80.5 ppm			
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	13.6	17.8	---	dB
BER before Viterbi	1.5E-04	4.1E-02	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	5.6E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	5.0E-04	---	
Packet Errors	0	322	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980353	---	Mbit/s

Figura 4. 107 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 10, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 17,6dB y una intensidad de campo eléctrico de 47,86dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -68,14dBm.

Measurement Parameter				
Level	58.46 dB μ V/m	Crest Factor	10.94 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	26.9 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-5.3 dB	
RF Offset	244.9 Hz	MER TMCC	28.4 dB	
Symbol Rate Offset	80.2 ppm	MER AC	26.5 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	28.0	26.3	---	dB
BER before Viterbi	2.0E-04	5.8E-03	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-08	7.6E-04	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-06	1.3E-07	---	
Packet Errors	0	0	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980348	---	Mbit/s

Figura 4. 108 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 11, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 26,9dB y una intensidad de campo eléctrico de 63,66dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -55,82dBm.

Measurement Parameter				
Level	66.22 dB μ V/m	Crest Factor	10.65 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	30.5 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-4.0 dB	
RF Offset	64.1 Hz	MER TMCC	32.4 dB	
Symbol Rate Offset	80.0 ppm	MER AC	28.7 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	30.8	30.0	---	dB
BER before Viterbi	5.5E-04	7.6E-04	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	8.1E-04	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-06	3.2E-05	---	
Packet Errors	0	0	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980346	---	Mbit/s

Figura 4. 109 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 12, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 30,5dB y una intensidad de campo eléctrico de 66,22dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -51,58dBm.

Measurement Parameter				
Level	55.42 dB μ V/m	Crest Factor	11.98 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	21.3 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-2.4 dB	
RF Offset	64.2 Hz	MER TMCC	19.9 dB	
Symbol Rate Offset	80.1 ppm	MER AC	20.1 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	18.9	21.1	---	dB
BER before Viterbi	2.8E-04	1.5E-02	---	
BER before Reed Solomon	2.0E-06	4.5E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-06	6.5E-05	---	
Packet Errors	0	74	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980348	---	Mbit/s

Figura 4. 110 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 13, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 21,3dB y una intensidad de campo eléctrico de 55,42dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -56,87dBm.

Measurement Parameter				
Level	58.18 dB μ V/m	Crest Factor	12.99 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	24.9 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-6.0 dB	
RF Offset	64.7 Hz	MER TMCC	25.0 dB	
Symbol Rate Offset	80.0 ppm	MER AC	24.3 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	26.1	24.4	---	dB
BER before Viterbi	5.0E-05	7.3E-03	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	3.3E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-06	3.5E-05	---	
Packet Errors	0	10	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980346	---	Mbit/s

Figura 4. 111 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 14, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 24,9dB y una intensidad de campo eléctrico de 58,18dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -58.22dBm.

Measurement Parameter				
Level	63.01 dB μ V/m	Crest Factor	11.42 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	27.3 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-4.9 dB	
RF Offset	64.7 Hz	MER TMCC	29.4 dB	
Symbol Rate Offset	70.4 ppm	MER AC	21.7 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	23.0	27.7	---	dB
BER before Viterbi	3.1E-04	1.5E-03	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	2.6E-04	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	0.0E-07	---	
Packet Errors	0	0	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416117	14.980202	---	Mbit/s

Figura 4. 112 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 15, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 27,3dB y una intensidad de campo eléctrico de 63,01dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -53,27dBm.

Measurement Parameter				
Level	67.60 dB μ V/m	Crest Factor	11.98 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	27.6 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-4.1 dB	
RF Offset	64.6 Hz	MER TMCC	29.2 dB	
Symbol Rate Offset	80.0 ppm	MER AC	23.2 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	31.0	27.1	---	dB
BER before Viterbi	0.0E-07	1.7E-03	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	3.7E-04	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	0.0E-07	---	
Packet Errors	0	0	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980346	---	Mbit/s

Figura 4. 113 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 16, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 27,6dB y una intensidad de campo eléctrico de 67,60dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -50,83dBm.

Measurement Parameter				
Level	62.85 dB μ V/m	Crest Factor	14.84 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	25.3 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-5.6 dB	
RF Offset	64.6 Hz	MER TMCC	25.7 dB	
Symbol Rate Offset	80.1 ppm	MER AC	23.4 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	26.2	24.9	---	dB
BER before Viterbi	2.8E-04	3.6E-03	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	8.6E-04	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-06	3.2E-07	---	
Packet Errors	0	0	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980347	---	Mbit/s

Figura 4. 114 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 17, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 25,3dB y una intensidad de campo eléctrico de 62,85dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -53,83dBm.

Measurement Parameter				
Level	60.27 dB μ V/m	Crest Factor	12.91 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	24.1 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-5.1 dB	
RF Offset	63.1 Hz	MER TMCC	24.0 dB	
Symbol Rate Offset	80.0 ppm	MER AC	23.3 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	22.9	23.7	---	dB
BER before Viterbi	3.8E-04	8.9E-03	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-06	2.9E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	5.9E-07	---	
Packet Errors	0	10	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980346	---	Mbit/s

Figura 4. 115 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 18, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 24,1dB y una intensidad de campo eléctrico de 60,27dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -57,52dBm.

Measurement Parameter				
Level	51.56 dB μ V/m	Crest Factor	14.35 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	18.0 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-6.1 dB	
RF Offset	63.1 Hz	MER TMCC	16.0 dB	
Symbol Rate Offset	80.2 ppm	MER AC	14.6 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	15.9	18.2	---	dB
BER before Viterbi	1.8E-04	4.2E-02	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-06	6.2E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	3.1E-04	---	
Packet Errors	0	966	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980348	---	Mbit/s

Figura 4. 116 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 19, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 18dB y una intensidad de campo eléctrico de 51,56dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -63,03dBm.

Measurement Parameter				
Level	57.07 dB μ V/m	Crest Factor	14.55 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	20.7 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-6.1 dB	
RF Offset	63.9 Hz	MER TMCC	20.4 dB	
Symbol Rate Offset	80.0 ppm	MER AC	18.1 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	15.0	21.4	---	dB
BER before Viterbi	2.1E-03	1.4E-02	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-06	3.4E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	1.8E-05	---	
Packet Errors	0	15	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980345	---	Mbit/s

Figura 4. 117 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 20, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 20,7dB y una intensidad de campo eléctrico de 57,07dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -60,50dBm.

Measurement Parameter				
Level	55.38 dB μ V/m	Crest Factor	11.71 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	23.1 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-6.0 dB	
RF Offset	67.4 Hz	MER TMCC	25.2 dB	
Symbol Rate Offset	80.1 ppm	MER AC	20.5 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	20.0	23.0	---	dB
BER before Viterbi	1.0E-03	1.4E-02	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	4.8E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	5.6E-05	---	
Packet Errors	0	211	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980347	---	Mbit/s

Figura 4. 118 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 21, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 23,1 dB y una intensidad de campo eléctrico de 55,38dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -61,30dBm.

Measurement Parameter				
Level	58.94 dB μ V/m	Crest Factor	13.52 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	27.1 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-1.9 dB	
RF Offset	66.6 Hz	MER TMCC	28.6 dB	
Symbol Rate Offset	80.1 ppm	MER AC	26.3 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	26.5	26.6	---	dB
BER before Viterbi	0.0E-07	1.2E-03	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	8.5E-04	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	4.6E-07	---	
Packet Errors	0	0	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980347	---	Mbit/s

Figura 4. 119 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 22, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 27,1dB y una intensidad de campo eléctrico de 58,94dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -57,19dBm.

Measurement Parameter				
Level	48.56 dB μ V/m	Crest Factor	10.15 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	19.0 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	-6.2 dB	
RF Offset	189.3 Hz	MER TMCC	18.9 dB	
Symbol Rate Offset	80.3 ppm	MER AC	16.7 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	19.2	18.6	---	dB
BER before Viterbi	0.0E-07	3.4E-02	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	4.7E-03	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	1.4E-05	---	
Packet Errors	0	12	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416121	14.980351	---	Mbit/s

Figura 4. 120 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 23, se puede observar que la señal se recepta con un MER (total) de 19dB y una intensidad de campo eléctrico de 48,56dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -66,51dBm.

Measurement Parameter				
Level	33.98 dB μ V/m	Crest Factor	11.77 dB	
OFDM Demodulator	unlocked	FEC Decoder	unlocked	
ISDB-T Mode	---			
Guard Interval	---	MER (total,rms)	---	
Sideband Position	---	MER (total,peak)	---	
RF Offset	---	MER TMCC	---	
Symbol Rate Offset	---	MER AC	---	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	---	---	---	dB
BER before Viterbi	---	---	---	
BER before Reed Solomon	---	---	---	
BER after Reed Solomon	---	---	---	
Packet Errors	---	---	---	/s
MPEG TS Bitrate	---	---	---	Mbit/s

Figura 4. 121 MER, BER y Potencia de Recepción.

Según la medición realizada en el punto 24, se puede observar que no es posible determinar el valor del MER (total) debido a que no es posible demodular la señal; a pesar de ello, se puede observar que la señal se detecta con una intensidad de campo eléctrico de 33,98 dB μ V/m. De igual manera en dicha zona, se pudo obtener un valor de potencia de recepción de -88,78dBm.

4.5 Simulación de señal TDT

4.5.1 *Modelo de Propagación*

Un modelo de propagación brinda un componente predictivo del comportamiento de la señal durante la trayectoria recorrida desde el transmisor (Tx) hacia el receptor (Rx), permitiendo mejorar la capacidad de selección de equipos, costos y necesidades en base a un análisis teórico, para tener mayor probabilidad de éxito en dicha transmisión.

El objetivo primordial de un Modelo de propagación es predecir las probables pérdidas que se puedan presentar en la trayectoria de una señal de Radiofrecuencia, considerando variables como el entorno geográfico, elevación de terrenos, características atmosféricas, tipo de área de propagación (urbana, rural, abierta), etc [34]. La efectividad de los Modelos se determina en base a una comparación de los resultados obtenidos en mediciones reales de campo, comparados con los presentados por la simulación de dicho Modelo.

Los Modelos de propagación se pueden clasificar como empíricos o estadísticos cuando se basan en mediciones o en teóricos o determinísticos cuando estos se basan en los principios fundamentales de la propagación de las señales de radio.

Considerando el alcance del presente trabajo, no desarrollaremos una amplia explicación técnica de los Modelos de propagación de interés para un análisis predictivo. Como resultado obtenido del análisis realizado en el trabajo de titulación “*ANÁLISIS DE LAS MEJORES PRÁCTICAS PARA LA MEDICIÓN DE CAMPO Y COMPARACIÓN CON VALORES TEÓRICOS, DE LOS NIVELES DE RECEPCIÓN DE RF DE UNA SEÑAL DE TDT*” por estudiantes de Ingeniería de la Universidad Politécnica del Litoral, se pudo determinar que en la ciudad de Guayaquil, los modelos Okumura Hata y UIT-R P.1546-5 responden en un alto nivel de precisión en un análisis correlacional con mediciones reales de intensidad de campo, sin embargo, el modelo UIT-R P.1546 es aquel que presentó mayor precisión en dichos resultados, el cual lo convierte en un modelo ideal para la simulación que desarrollaremos en el presente documento.

El modelo de propagación presentado como **Recomendación UIT-R P.1546-5** presenta las siguientes características:

- **Tipo de Modelo:** Semi Empírico
- **Método de Predicción:** Punto a Zona
- **Frecuencias Aplicables:** 30MHz a 3000MHz
- **Tipo de Trayectos:** Terrenales, Marítimos y Mixtos
- **Distancia desde el Transmisor:** desde 1Km a 1000Km

El proceso de cálculo de la intensidad de campo de una señal que tenga características similares a las mencionadas anteriormente, se puede determinar según las curvas de propagación que presenta el mencionado Modelo. Para realizar dicho calculo, se presenta un proceso de interpolación y extrapolación de los distintos puntos de la curva en función de las siguientes variables:

- **Altura del efectiva Transmisor (h_1):** Se ha considera valores nominales 10, 20, 37.5, 75, 150, 300, 600 y 1200m para el cálculo de la intensidad de campo haciendo uso de las curvas de la Recomendación. Para cualquier otro análisis donde la altura efectiva del transmisor oscile entre 10m y 300m, se deberá realizar una interpolación o extrapolación según corresponda.
- **Altura del receptor (h_2):** Para el cálculo de intensidad de campo, en el presente modelo se utiliza una altura de 10m sobre el nivel del mar, si la transmisión es terrestre.
- **Distancia en Km desde el transmisor hacia el receptor:** Escala logarítmica desde 1km a 1000km.
- **Frecuencia de operación de la señal:** Si la señal deseada opera con 100MHz, 600MHz o 2000 MHz
- **Porcentaje del tiempo de medición:** Las curvas de la recomendación, que permiten determinar la intensidad de campo, se basan en porcentajes de tiempo de medición de 1%, 10% o 50%
- **Porcentaje de ubicaciones de medición:** El presente modelo se basa en un 50% de variabilidad de las ubicaciones, es decir considerando la totalidad de mediciones realizadas dentro de un área de 500m por 500m.

Estos procesos pueden ser calculados matemáticamente conociendo los valores de cada una de las variables antes mencionadas según

corresponda el escenario de medición, aplicando correcciones que permiten anticipar los efectos de propagación en el campo. [35].

Es importante mencionar que el presente modelo es aplicable para escenario con propagaciones terrestres, marítimas o mixtas, pero puntualizando en nuestro proyecto, nos enfocaremos únicamente a la transmisión terrestre, debido a que los trayectos mixtos son muy pequeños por lo tanto se convierten en despreciables.

Para poder comprender el cálculo de intensidad de campo considerando el Modelo recomendado por la ITU-R, se describe a continuación el proceso detallado aplicado al presente proyecto:

1. Determinar si el trayecto es Terrestre, Marítimo o Mixto. Para este caso en la ciudad de Guayaquil utilizaremos el **trayecto Terrestre**.
2. Determinar el rango de frecuencia en que se encuentre operando el transmisor, para el proyecto utilizaremos las tablas de **600MHz**, debido a que estamos enfocados en el canal 25 que corresponde a la frecuencia 539MHz.
3. Determinar el porcentaje del tiempo de medición 1%, 10% o 50%.
4. Una vez que se ha identificado claramente la tabla que se utilizara, se procede a realizar el proceso de elección de Intensidad de campo. Para ello inicialmente se identifica la distancia que existe entre el transmisor y el lugar de la medición y la altura efectiva del transmisor.
5. La distancia del trayecto la consideramos como d_t , si dicho valor no coincide con los especificados en la abscisa de la tabla, se determina el valor de d_{inf} como el valor entero inmediato inferior y d_{sup} como el valor entero inmediato superior que se observa en el mencionado eje de la tabla seleccionada.
6. El valor de la altura h_1 se podrá obtener de la siguiente formula:
 - a. Considerando que es un trayecto terrestre inferior a los 3km:

$$h_1 = h_a \quad (4. 1)$$

; donde h_a es la altura de la antena sobre el suelo

- b. Considerando que es un trayecto terrestre superior a los 3km pero inferior a los 15km:

$$h_1 = h_a + \frac{(h_{eff} - h_a)(d-3)}{12} \quad (4. 2)$$

; d es la distancia entre el transmisor y el receptor

Una vez que se ha identificado el valor de h_1 , se determina el valor inmediato inferior al cual le denominaremos como h_{inf} y el inmediato superior denominado h_{sup} .

7. Una vez realizado los cálculos mencionado en el punto 5 y 6, y considerando que dichos valores no coinciden exactamente con los ejes de las tablas, es necesario realizar el cálculo de interpolación o extrapolación en función de la altura h_1 , en función de la distancia d_t , o en función de la frecuencia para determinar el valor de la Intensidad de Campo E :

- a. En función de la altura:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right) / \log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right) \quad (4. 3)$$

- b. En función de la distancia:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log\left(\frac{d}{d_{inf}}\right) / \log\left(\frac{d_{sup}}{d_{inf}}\right) \quad (4. 4)$$

- c. En función de la frecuencia:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log\left(\frac{f}{f_{inf}}\right) / \log\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right) \quad (4. 5)$$

Donde f es la frecuencia deseada (539MHz para el presente estudio), f_{inf} es la frecuencia inmediata inferior (100MHz para el presente estudio) y f_{sup} es la frecuencia inmediata superior (2000MHz para el presente estudio).

4.5.2 Software de Simulación RADIO MOBILE

Para la simulación de propagación, se ha utilizado la herramienta de software Radio Mobile, la cual permite simular situaciones complejas de propagación de señal, con un transmisor y varios repetidores de señal (gap filler).

El software Radio Mobile, permite la interacción directamente con los mapas de Google Earth, lo cual brinda una mejor apreciación de datos geográficos, como la posición de elevaciones, cerros, edificios, calles, de tal manera que

los cálculos de propagación de señal, los realiza considerando las pérdidas, difracción, refracción y umbrales de señal.

Para nuestro trabajo se configuró el software, como una red con varios sistemas y componentes, teniendo cada repetidor su propia configuración, de acuerdo a lo expuesto en capítulos anteriores en los cuales se analizó los parámetros técnicos de los equipos, cada simulación individual del transmisor y repetidores, se va sobreponiendo capa por capa, hasta tener simulado el sistema completo simulado con el objetivo deseado de alcanzar los niveles mínimos de propagación en cada sitio conforme a la normativa técnica, para la ciudad de Guayaquil, garantizando la calidad de la señal en el “receptor móvil” (televisión con estándar ISDB-Tb en los hogares).

Considerando el trabajo realizado, de determinar de manera práctica mediante mediciones de campo, los sitios en los cuales la señal se desvanece por obstáculos naturales o artificiales y no es posible procesar completamente la decodificación por el receptor, siendo necesario el uso de repetidores tipo gap filler, para “regenerar” la señal y enviarla al receptor con niveles adecuados de acuerdo a la norma técnica; se ha utilizado el software a nivel de radiofrecuencia RF, para ir simulando cada componente, hasta obtener el porcentaje de cobertura deseado, iniciando la simulación con un 50% del tiempo, en el 90% de las ubicaciones de la ciudad de Guayaquil.

En nuestro caso, el transmisor real, se encuentra en operación en el Canal 25, sirviendo a la ciudad de Guayaquil y alrededores, por lo que se encuentra autorizado de manera temporal por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, y se ha utilizado los mismos parámetros configurados en el transmisor para la simulación, tales como potencia, altura, polaridad, ganancia de antena sectorial y pérdidas de la línea, de tal manera, que se asegura que los valores teóricos coincidan con los valores medidos, en 24 sitios de la ciudad de Guayaquil.

A continuación se visualiza los parámetros técnicos configurados, en el software:

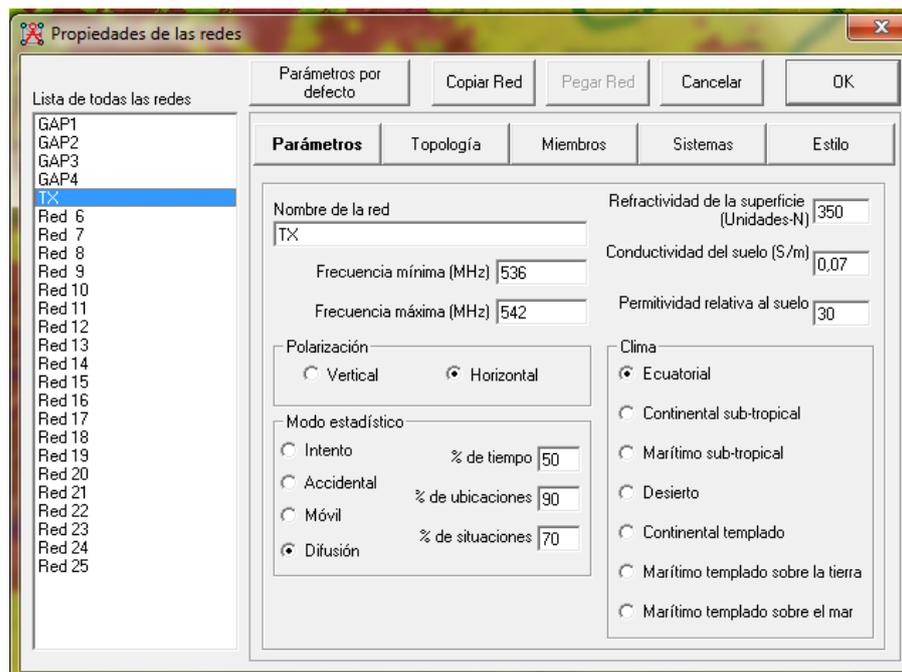


Figura 4. 122 Configuración de datos según modelo de propagación

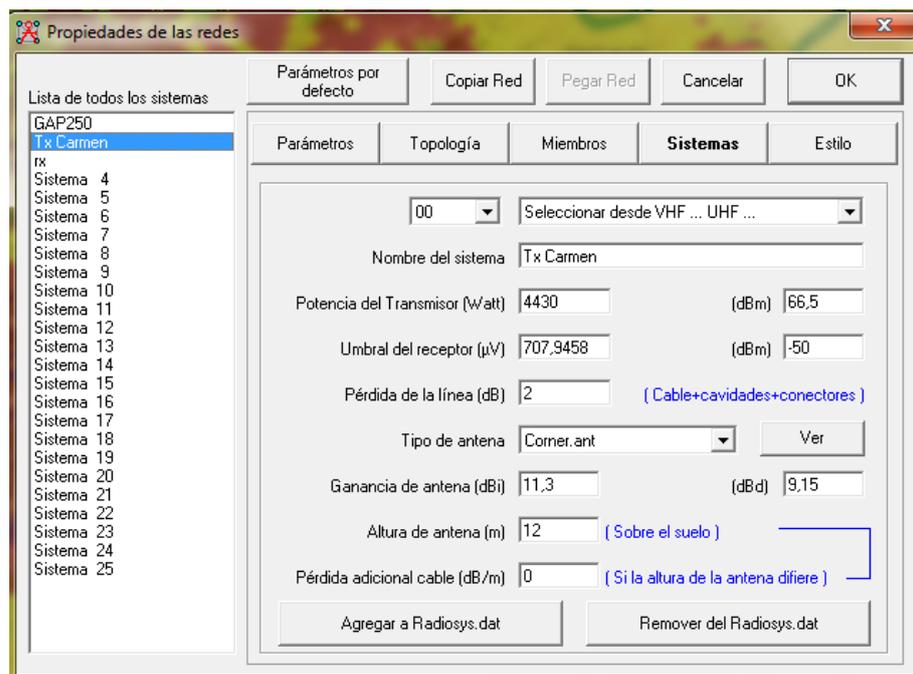


Figura 4. 123 Configuración de parámetros técnicos según transmisor real

4.5.3 Simulación con Único Transmisor

Luego que hemos configurado nuestro transmisor en Canal 25 UHF, verificamos que para la ciudad de Guayaquil, en un cuadrante con base de 50Km, se ubica las zonas habitadas donde se brindaría el servicio de

televisión digital terrestre, incluidas las zonas rurales de Chongon y Pascuales.

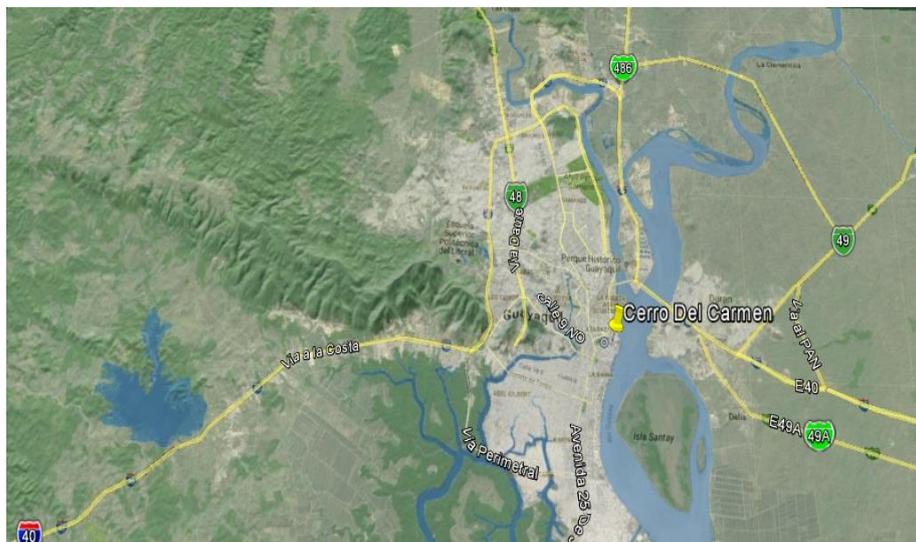


Figura 4. 124 Transmisor ubicado en Cerro del Carmen, para cubrir Guayaquil y alrededores

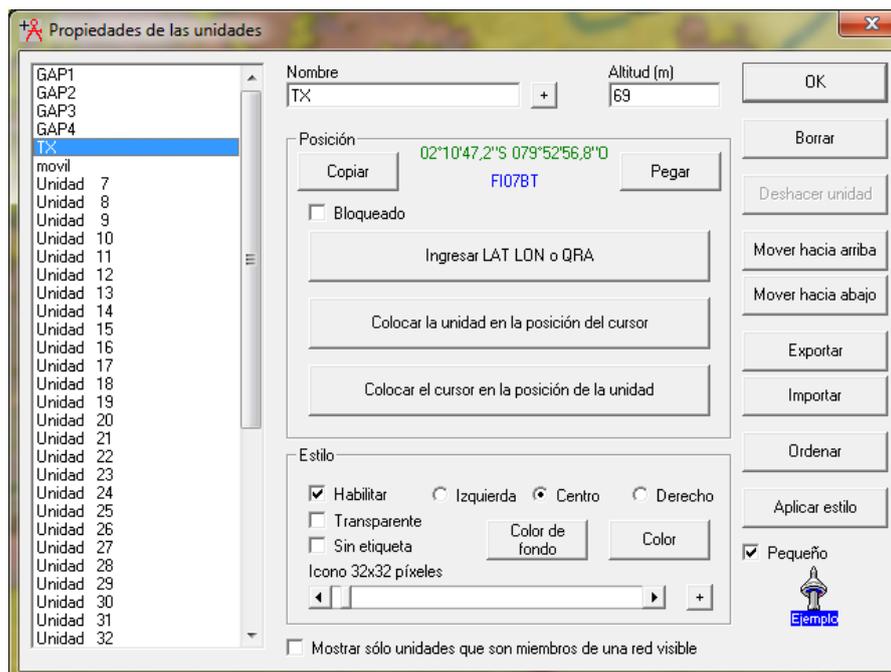


Figura 4. 125 Coordenadas y altura del transmisor Tx

Para la simulación, utilizamos el transmisor con antenas tipo paneles UHF, en tres sectores con los azimut de 0° , 180° y 270° (como se encuentra actualmente en las instalaciones del transmisor del canal 25), cada lóbulo de radiación tiene su dirección de propagación de señal hacia el norte, sur

y oeste, respectivamente; los sitios donde la señal tiene niveles de intensidad igual o mayor a $51\text{dB}\mu\text{v}/\text{m}$, se los identifica en color amarillo y los sitios donde el nivel de intensidad es pobre menor a $51\text{dB}\mu\text{v}/\text{m}$, se los identifica en color rojo.

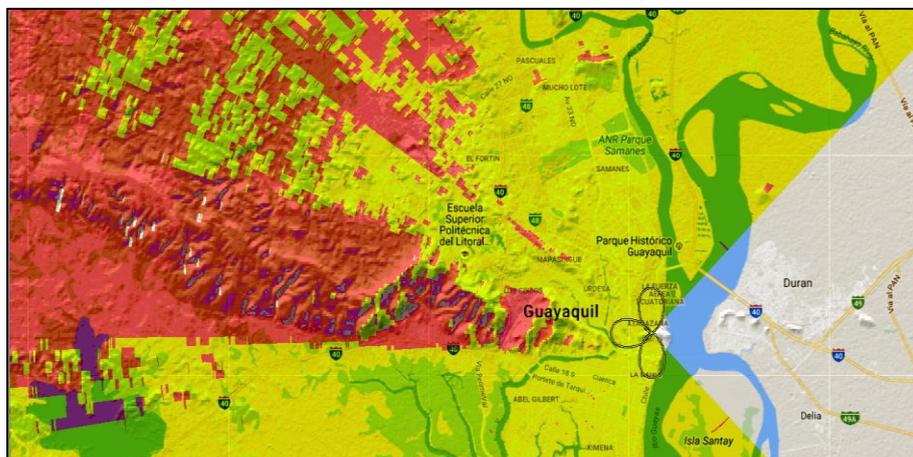


Figura 4. 126 Simulación emitiendo señal un transmisor en el Cerro del Carmen

Se comprueba, que las mediciones de campo, coinciden con los valores teóricos simulados, teniendo los principales obstáculos naturales hacia el nor-oeste y oeste de la ciudad de Guayaquil, lo que ocasiona zonas de sombra, a los sectores que corresponden a Los Ceibos, Vía a la Costa, Perimetral Casuarina, Metrópolis.

Hacia el sur existen casos puntuales con niveles de intensidad de campo menor a $51\text{dB}\mu\text{v}/\text{m}$ ocasionados por obstáculos artificiales - edificios, en donde se comprueba mediante las mediciones de campo, que por la característica de multitrayecto de la señal de televisión digital, se logra decodificar la misma en el receptor.

Procesada la información de muestreo de datos de los niveles de intensidad de campo, para la ciudad de Guayaquil, desde el transmisor ubicado en el Cerro del Carmen, se tiene 8 radiales en un arco de 180° generando 8 sectores, iniciando con el radial#1 en el sur de la ciudad y avanzando en sentido a favor de las manecillas del reloj se tiene que, los radiales #1, #2, #3, presentan un buen nivel de intensidad de campo, en los radiales #4, #7 se tiene una pequeña degradación de la señal en el sector rural de la

parroquia Chongón; y por el contrario, los radiales #5 y #6, son los más afectados por las elevaciones naturales, como los cerros Bellavista, San Eduardo, Mapasingue, Azul-507, los cuales se encuentran en el camino de propagación de la señal.

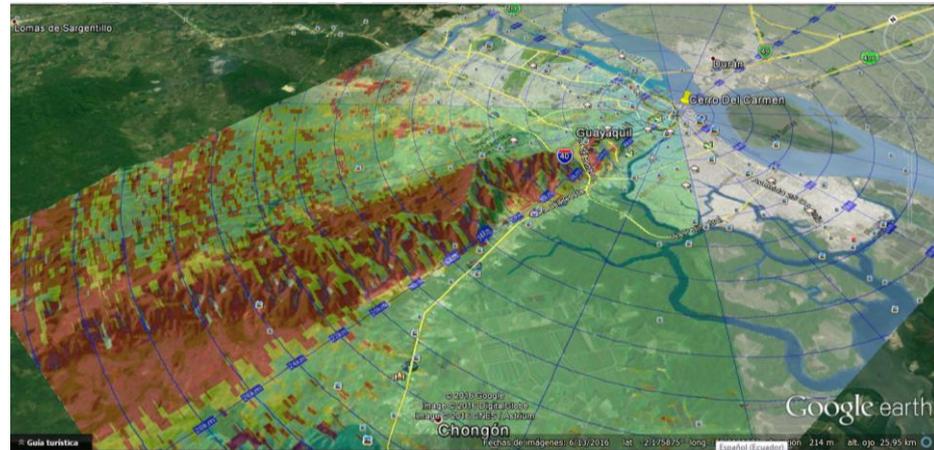


Figura 4. 127 Ciudad de Guayaquil sectorizada, con 8 radiales.

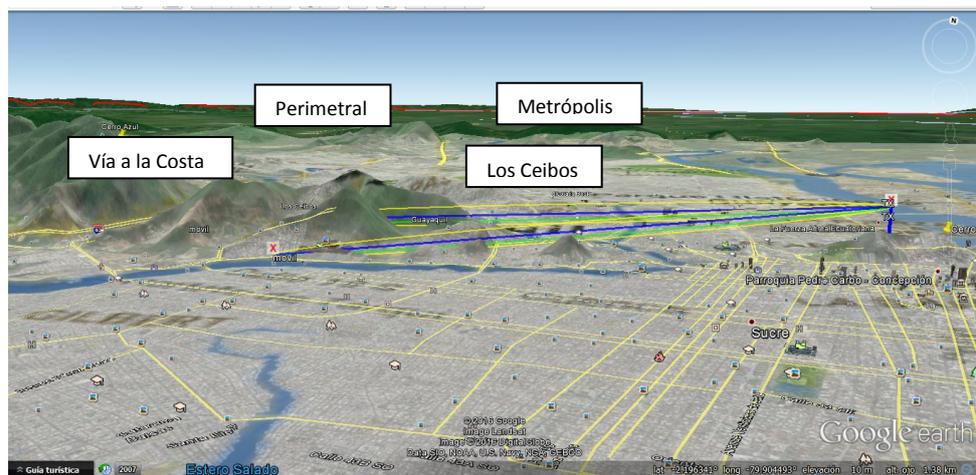


Figura 4. 128 Principales zonas de sombra en la ciudad de Guayaquil



Figura 4. 129 Vista de los obstáculos que generan las zonas de sombras.

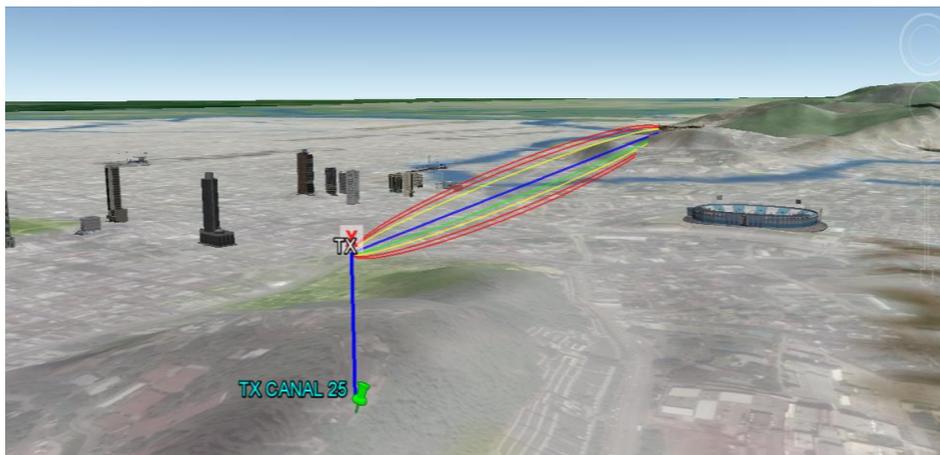


Figura 4. 130 Vista hacia el sur de la ciudad de Guayaquil, con obstáculos artificiales-edificios

4.5.4 Simulación con Repetidores

Identificadas las zonas de sombra en la ciudad de Guayaquil, procederemos a configurar repetidores de señal “gap filler”, para cubrir en un 98% los sitios de la ciudad de Guayaquil.

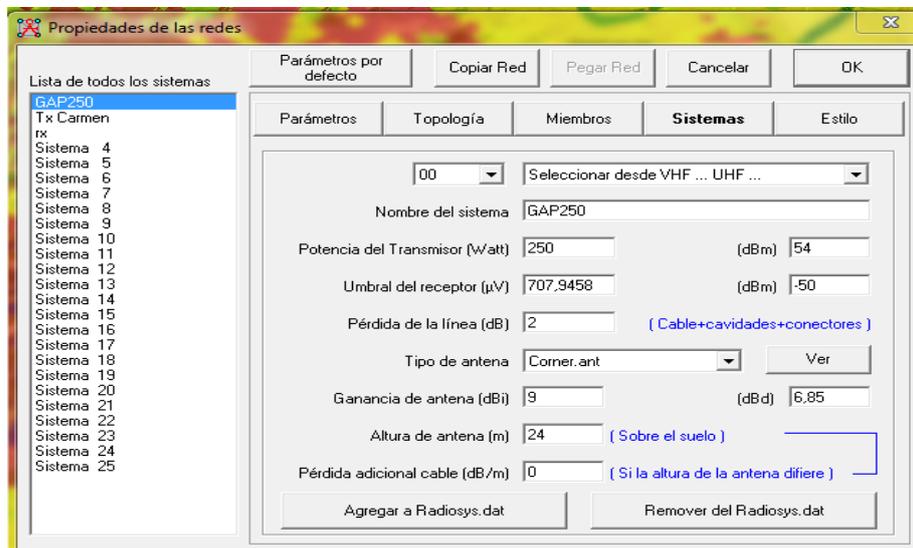


Figura 4. 131 Configuración GAP FILLER

Se definió según la teoría en los capítulos anteriores, 4 sitios para ubicar los gap filler, por lo que procederemos a configurar cada componente y simular de manera sucesiva su azimut, hasta alcanzar los mejores niveles de señal en las zonas de sombra.

El primer gap filler GAP1, tendrá como objetivo repetir la señal en el sector noreste de la ciudad, con lóbulos de radiación en azimut de 225° y 120° ; el GAP1 se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:

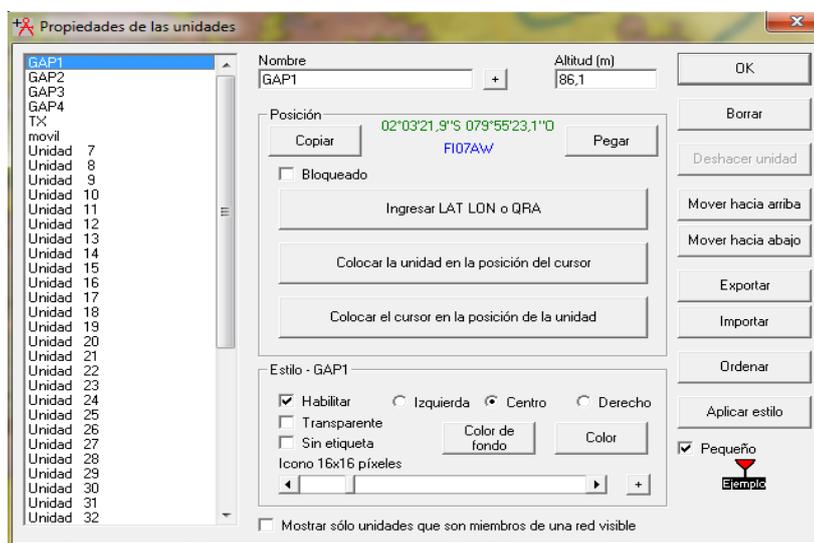


Figura 4. 132 Coordenadas GAP1, sector noreste de la ciudad de Guayaquil

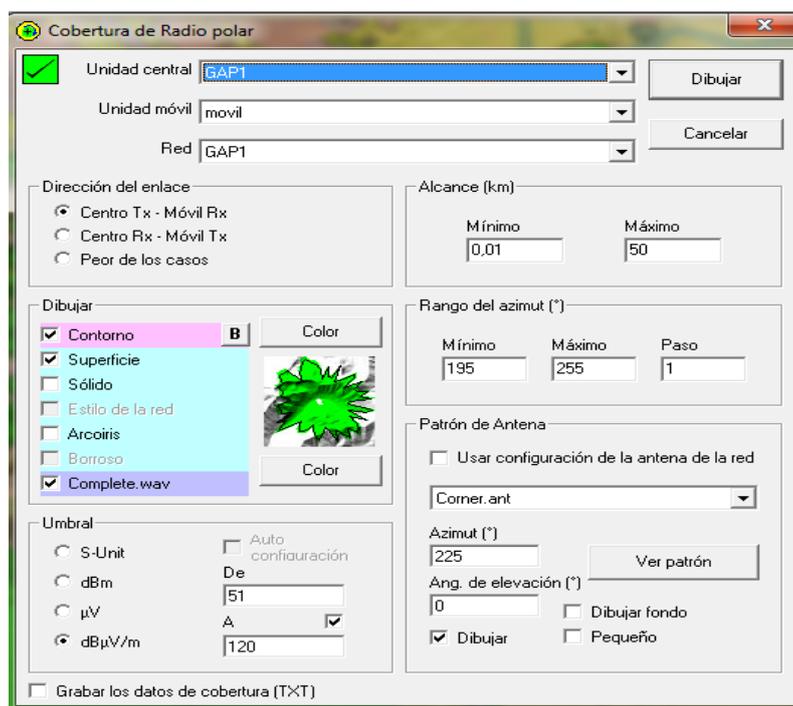


Figura 4. 133 GAP1 con antena sectorizada a 225°

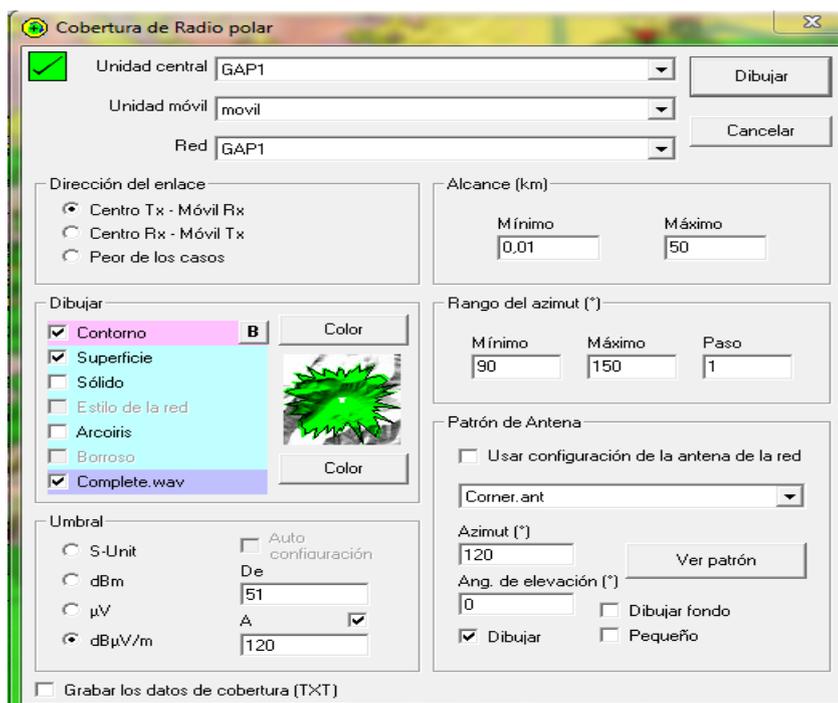


Figura 4. 134 GAP1 con antena sectorizada a 120°



Figura 4. 135 Simulación con GAP1, azimut 120° y 225°

El segundo gap filler GAP2, tendrá como objetivo repetir la señal en el sector centro oeste, exclusivamente para área residencial ciudadela Los Ceibos, catalogada actualmente por la ARCOTEL, como única zona de sombra obligatoria para brindar cobertura en la televisión analógica; el GAP2 está ubicado en las siguientes coordenadas:

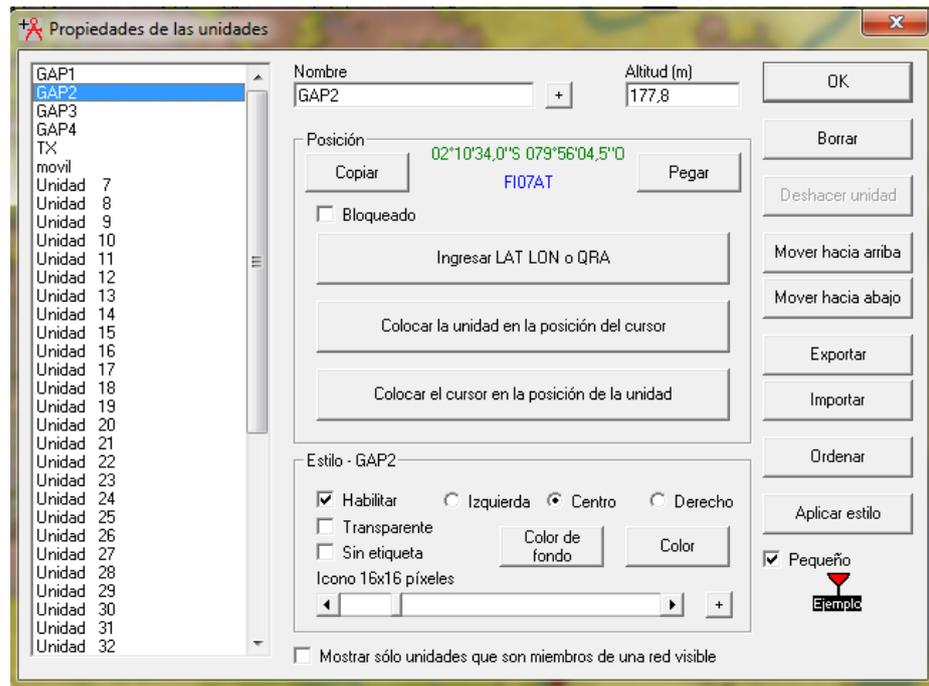


Figura 4. 136 Coordenadas GAP 2, sector Los Ceibos

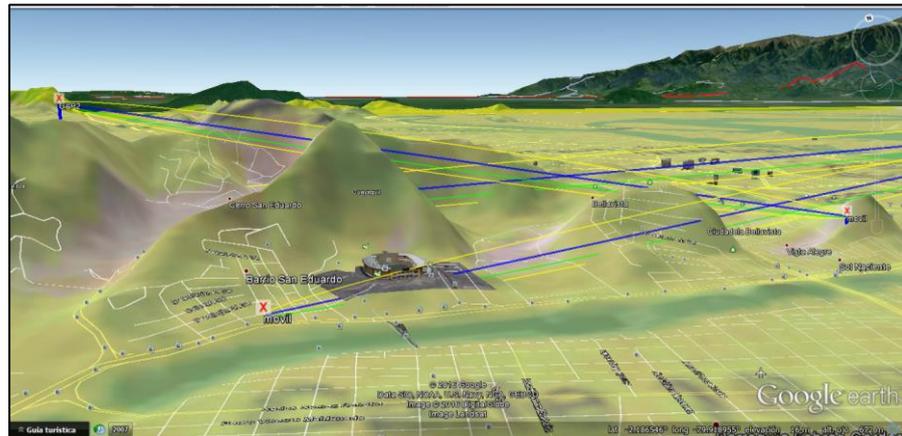


Figura 4. 137 Ubicación de GAP2, para cubrir zona encerrada por elevaciones naturales

Figura 4. 138 GAP2 con antena sectorizada a 270°



Figura 4. 139 Simulación con GAP2, azimut 270°

El tercer gap filler GAP3, tendrá como objetivo repetir la señal en el sector oeste, para brindar el servicio a las ciudadelas Vía a la Costa, Perimetral oeste, Avenida Barcelona – Consulado Americano, con lóbulos de radiación en azimut de 30°, 270° y 330°; el GAP3 se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:

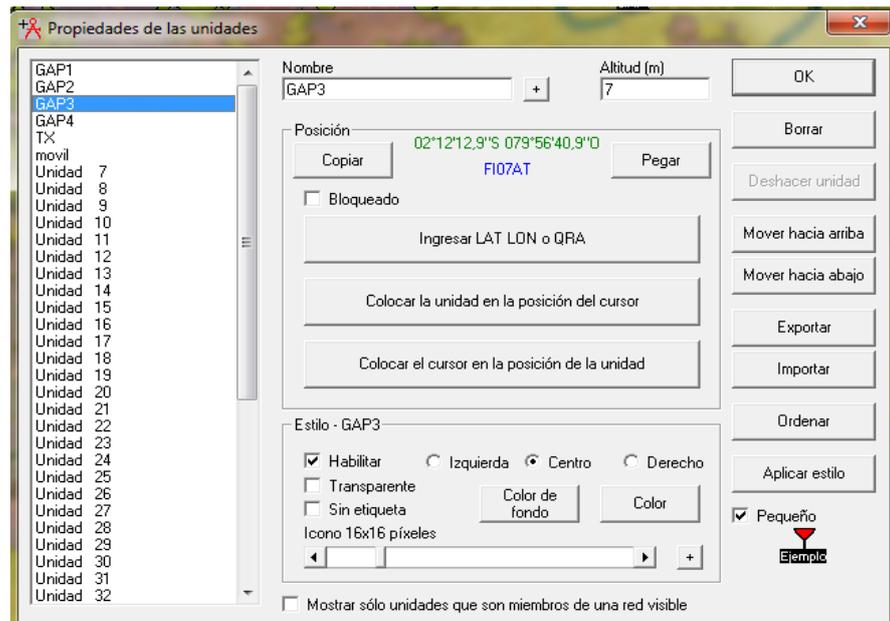


Figura 4. 140 Coordenadas GAP3, sector Vía a la Costa

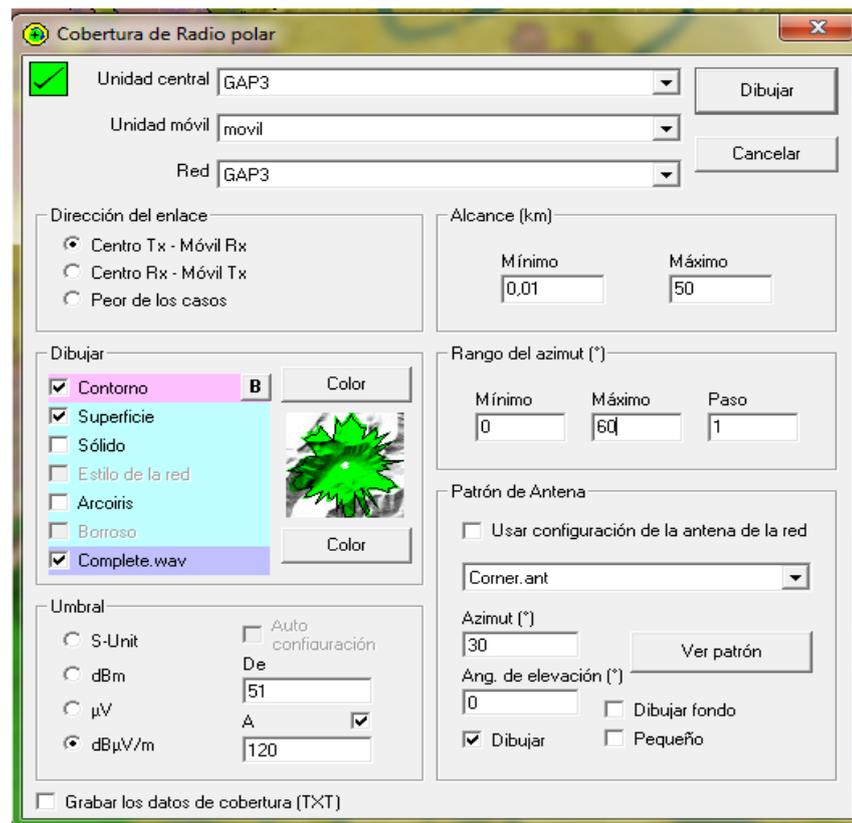


Figura 4. 141 GAP3 con antena sectorizada a 30°

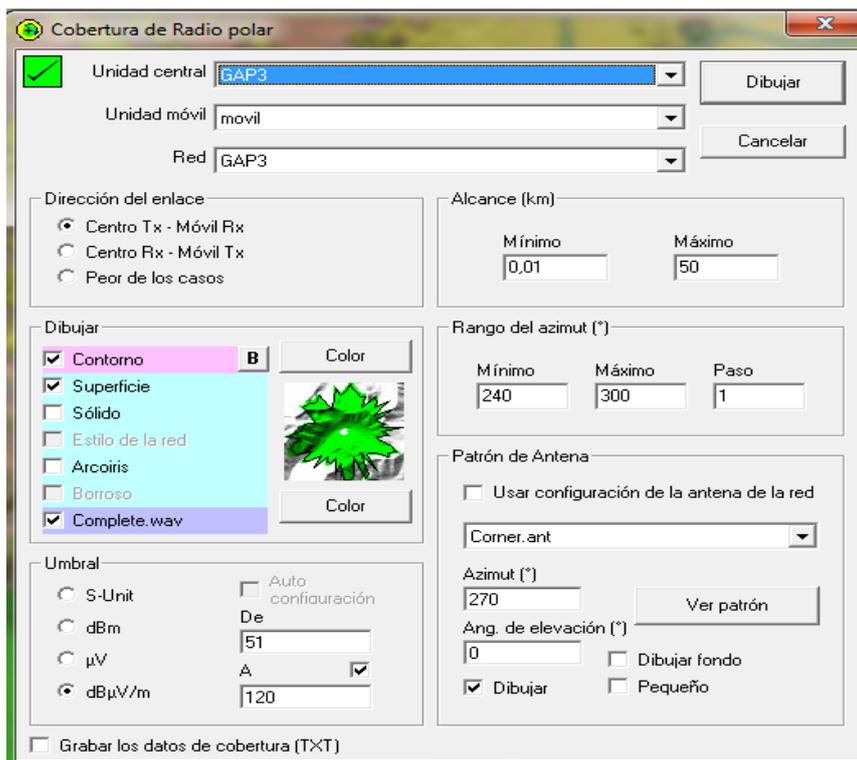


Figura 4. 142 GAP3 con antena sectorizada a 270°

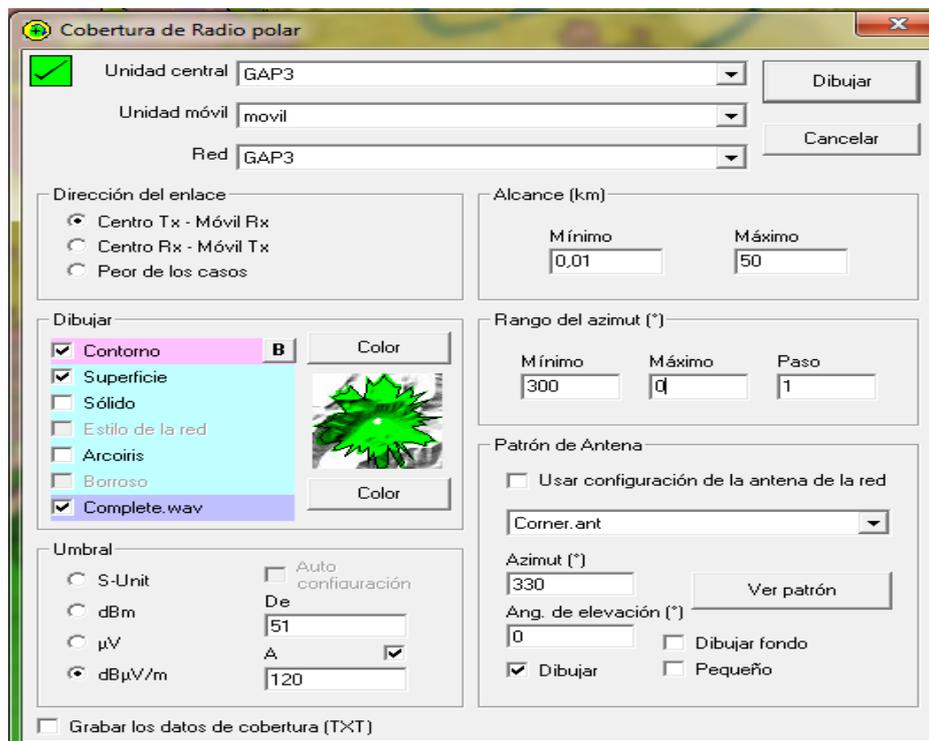


Figura 4. 143 GAP3 con antena sectorizada a 330

o

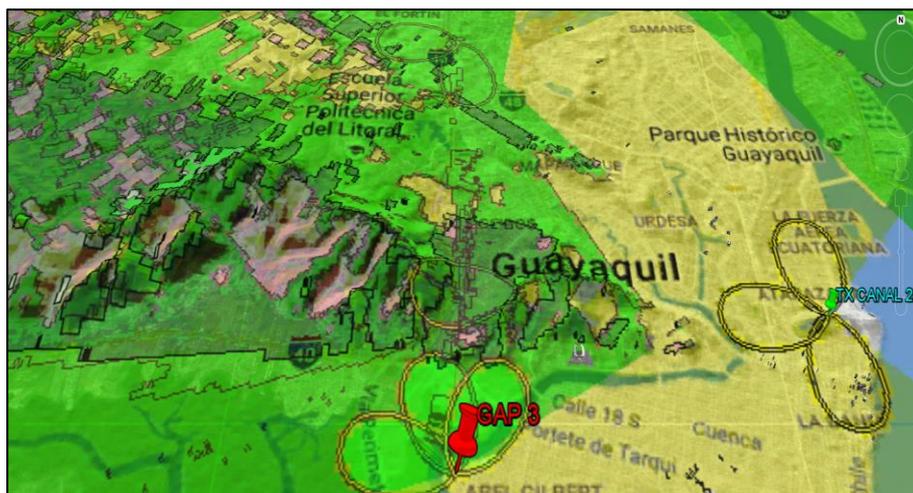


Figura 4. 144 Simulación con GAP3, azimut 30°, 270° y 330°

El cuarto gap filler GAP4, tendrá como objetivo repetir la señal en el sector noroeste, para brindar el servicio a las ciudadelas de la Perimetral - Casuarina, Ceibos Norte, con lóbulos de radiación en azimut de 170° y 270°; el GAP4 se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:

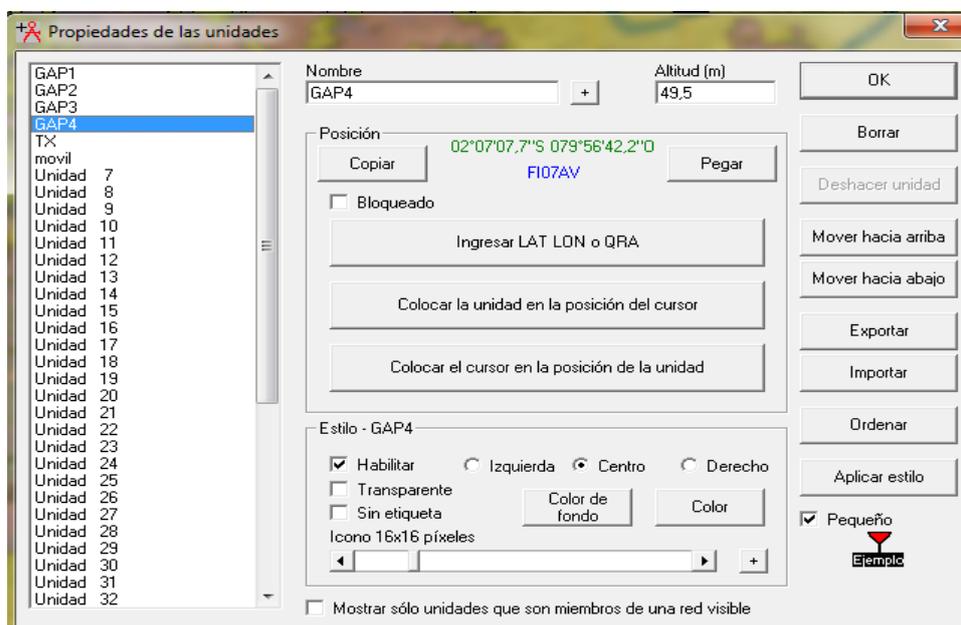


Figura 4. 145 GAP4, sector Perimetral – Casuarina

Coertura de Radio polar

Unidad central: GAP4 Dibujar

Unidad móvil: movil Cancelar

Red: GAP4

Dirección del enlace

Centro Tx - Móvil Rx
 Centro Rx - Móvil Tx
 Peor de los casos

Alcance (km)

Mínimo: 0,01 Máximo: 50

Dibujar

Contorno B Color
 Superficie Color
 Sólido
 Estilo de la red
 Arcoiris
 Borroso
 Complete.wav Color

Rango del azimut (°)

Mínimo: 140 Máximo: 200 Paso: 1

Patrón de Antena

Usar configuración de la antena de la red
 Corner.ant

Umbral

S-Unit Auto configuración
 dBm De: 51
 μ V A:
 dB μ V/m 120

Azimut (°): 170 Ver patrón
 Ang. de elevación (°): 0 Dibujar fondo
 Dibujar Pequeño

Grabar los datos de cobertura (TXT)

Figura 4. 146 GAP4 con antena sectorizada a 170°

Coertura de Radio polar

Unidad central: GAP4 Dibujar

Unidad móvil: movil Cancelar

Red: GAP4

Dirección del enlace

Centro Tx - Móvil Rx
 Centro Rx - Móvil Tx
 Peor de los casos

Alcance (km)

Mínimo: 0,01 Máximo: 50

Dibujar

Contorno B Color
 Superficie Color
 Sólido
 Estilo de la red
 Arcoiris
 Borroso
 Complete.wav Color

Rango del azimut (°)

Mínimo: 240 Máximo: 300 Paso: 1

Patrón de Antena

Usar configuración de la antena de la red
 Corner.ant

Umbral

S-Unit Auto configuración
 dBm De: 51
 μ V A:
 dB μ V/m 120

Azimut (°): 270 Ver patrón
 Ang. de elevación (°): 0 Dibujar fondo
 Dibujar Pequeño

Grabar los datos de cobertura (TXT)

Figura 4. 147 GAP4 con antena sectorizada a 270°



Figura 4. 148 Simulación con GAP4, azimut 170° y 270°

Sobreponiendo todas las capas de cada uno de los componentes simulados, logramos el objetivo, mediante los gap filler, de una cobertura completa al 98% en la ciudad de Guayaquil, en la siguiente figura se visualiza de color verde toda el toda el área con niveles de intensidad de campo mayor a 51dBuV/m y ya no se visualiza de manera preponderante el color rojo.



Figura 4. 149 Cobertura total en la ciudad de Guayaquil con 4 Gap Filler y Tx en Cerro del Carmen

A continuación se detalla una muestra de los resultados de la simulación, en la que se ha seleccionado puntos específicos de la ciudad de Guayaquil y se observa el nivel de intensidad operando el transmisor y los gap filler, de esta manera la simulación garantiza la cobertura en la ciudad de Guayaquil con valores de intensidad de campo superior a los 51dBuV/m conforme a la normativa técnica vigente.

SIMULACIÓN TRANSMISOR Y GAP FILLER			
MUESTRA DE NIVELES DE SEÑAL TDT EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL			
ÁNGULO DE AZIMUT ° GRADOS DECIMALES	DISTANCIA DESDE TRANSMISOR / GAP FILLER KILÓMETROS	NIVEL DE SEÑAL dBμV/m	OBSERVACIÓN
224.94	4.01	96	No es necesario Gap Filler
247.49	4.01	97.3	No es necesario Gap Filler
270	4.01	65.7	No es necesario Gap Filler
281.2	4.01	96.8	No es necesario Gap Filler
292.54	4.01	80.1	No es necesario Gap Filler
224.26	4.04	91	No es necesario Gap Filler
247.14	4.04	95.7	No es necesario Gap Filler
224.94	8	91.5	No es necesario Gap Filler
247.49	8	82.4	No es necesario Gap Filler
281.2	8	82.4	No es necesario Gap Filler
224.74	8.01	91.7	No es necesario Gap Filler
292.54	8.01	83.3	No es necesario Gap Filler
247.2	8.03	80.2	No es necesario Gap Filler
224.94	11.99	75.7	No es necesario Gap Filler
224.97	11.99	77	No es necesario Gap Filler
292.54	11.99	68.1	No es necesario Gap Filler
247.49	12.01	76.5	No es necesario Gap Filler
247.35	12.03	75	No es necesario Gap Filler
336.97	2.87	86.5	Referencia GAP3 encendido
36.48	3.26	69.2	Referencia GAP3 encendido
36.48	3.52	55.9	Referencia GAP3 encendido
297.25	5.77	61.5	Referencia GAP3 encendido
270	5.2	30.1	Si es necesario Gap Filler
281.2	6.01	31.7	Si es necesario Gap Filler
270	7.01	30.4	Si es necesario Gap Filler
270	8	41.5	Si es necesario Gap Filler
270	11.99	41.3	Si es necesario Gap Filler
306.33	12	46.8	Si es necesario Gap Filler

281.2	12.07	40.1	Si es necesario Gap Filler
-------	-------	------	----------------------------

Tabla 24: Recopilación de resultados de simulación

Es importante mencionar que el resultado de las simulaciones realizadas con el Radio Mobile y análisis respectivo a los parámetros técnicos e intensidad de campo, se podrá observar en el Anexo 2 del presente trabajo.

CAPÍTULO 5

5. DISEÑO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA RUF

5.1 Compilación de Resultados Obtenidos

En la presente sección se detallaran los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en campo y mediante la simulación del comportamiento de la señal en el software descrito anteriormente. Los resultados permitirán evaluar las características necesarias para establecer un Diseño adecuado para la ciudad de Guayaquil.

5.1.1 Descripción de los Resultados obtenidos

Luego de la tabulación de los datos obtenido mediante las mediciones, se ha podido consolidar la siguiente información:

Se ha determinado que existen 5 zonas de medición en donde no se puede observar la imagen, en 4 de aquellas zonas (Punto 5, Punto 6, Punto 9, Punto 24), el analizador de espectro no pudo obtener datos de medición tal como se indica en la Tabla 25 La zona de medición, denominada PUNTO 23 – Estadio Monumental, a pesar de que no se observa la señal en el monitor, se pudo obtener los siguientes valores:

- **Punto 23 – Estadio Modelo:** El Diagrama de constelación indica que la señal se puede observar con una gran cantidad de Ruido. Se pudo determinar en dicho punto un MER = 19 dB, un nivel de potencia de -66,51 dBm y una intensidad de campo de 48,56 dB μ V/m, lo cual está por debajo de lo que indica la normativa técnica (51 dB μ V/m).

Luego de las mediciones realizadas, se pudo observar que en 3 zonas (Punto 1, Punto 7 y Punto 10) la señal sufría inconvenientes de pixelado sin perder por completo la imagen, en dichas zonas, se pudo obtener los siguientes valores:

- **Punto 1 – Mucho Lote II:** El Diagrama de constelación indica que en la señal se puede observar con una gran cantidad de Ruido. Se

pudo determinar en dicho punto un MER = 19,5 dB, un nivel de potencia de -68,79 dBm y una intensidad de campo de 47,46 dB μ V/m, lo cual está por debajo de lo que indica la normativa técnica (51 dB μ V/m).

- **Punto 7 - Suburbio:** El Diagrama de constelación indica que en la señal se puede observar con una gran cantidad de Ruido. Se pudo determinar en dicho punto un MER = 19,5 dB, un nivel de potencia de -66,63 dBm y una intensidad de campo de 50,29 dB μ V/m, lo cual está por debajo de lo que indica la normativa técnica (51 dB μ V/m).
- **Punto 10 - Casuarina:** El Diagrama de constelación indica que en la señal se puede observar con una gran cantidad de Ruido. Se pudo determinar en dicho punto un MER = 17,6 dB, un nivel de potencia de -68,14 dBm y una intensidad de campo de 47,86 dB μ V/m, lo cual está por debajo de lo que indica la normativa técnica (51 dB μ V/m).

De los restantes 16 puntos observados, en cada uno de ellos se puede modular la imagen sin inconvenientes, pero existen varios puntos que no cumplen con los mínimos valores requeridos por la normativa técnica, a continuación se detallan dichos puntos en la tabla:

PUNTO DE MEDICIÓN	DIAGRAMA DE CONSTELACION	MER	Potencia (dBm)	Intensidad de Campo (dB μ V/m)
PUNTO 2 - Centro-Sur	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	27,2	-54,22	60,33
PUNTO 3 - Atarazana	Muy bajo nivel de ruido	17,9	-41,42	50,69
PUNTO 8 - La Pradera	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	19,5	-64,51	52,81
PUNTO 11 - IETEL	Muy bajo nivel de ruido	26,9	-55,82	58,46
PUNTO 13 - Centro	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	21,3	-56,87	55,42
PUNTO 14 - Centro - Roca	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	24,9	-58,22	58,18
PUNTO 15 - Centro Tarqui	Muy bajo nivel de ruido	27,3	-53,27	63,01
PUNTO 16 - Centro - Riobamba	Muy bajo nivel de ruido	27,6	-50,83	67,6
PUNTO 17 - Centro - Oct	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	25,2	-53,83	62,85

PUNTO 18 - Centro – Rocafuerte	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	24,1	-57,52	60,27
PUNTO 19 - Centro – Aguirre	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	18	-63,03	51,56
PUNTO 20 - Centro – Malecón	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	20,7	-60,5	57,07
PUNTO 21 - Centro – Este	Muy bajo nivel de ruido	23,1	-61,3	55,38
PUNTO 22 - Centro – Los Ríos	Muy bajo nivel de ruido	27,1	-57,19	58,94

Tabla 25: Puntos donde se observa la imagen, pero no cumple con valor mínimo de MER

De la tabla 25 se puede observar que únicamente el Punto 3 – Atarazana no cumple con el valor de intensidad de campo superior a lo establecido en la normativa técnica. Por otro lado, en los 13 puntos restantes, en cambio, no cumple con el MER establecido en la normativa (tienen un MER por debajo de los 32 dB), a pesar que tienen una Intensidad de campo superior a los 51dB μ V/m.

5.1.2 Mapa Digitalizado de la propagación de la señal

Una vez realizada la simulación utilizando el software Radio Mobile, se pudo observar el comportamiento de la señal en distintos escenarios, solo con el transmisor y colocando los Gap Fillers.

Según la observación realizada, se puede constatar que la señal de propagación, con los parámetros técnicos configurados actualmente,

cubren gran parte del territorio de la ciudad, pero existen zonas que se encuentran sin la cobertura deseada superando los límites indicados por la normativa, debido a las elevaciones naturales que se tiene.

Por lo antes indicado, a continuación se presente el Mapa digitalizado considerando los parámetros técnicos con el cual se encuentra operando el transmisor que fueron descritos en el capítulo anterior.



Figura 5. 1 Mapa Digitalizado considerando solo el transmisor del canal 25

En la fig. 5.2 se puede apreciar las zonas donde la señal se propaga con un nivel de intensidad de campo superior a $51 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ (grafica de color amarillo), y por otro lado se observa las zonas donde la señal llega con menor intensidad de campo que el establecido en la normativa técnica (color rojo).

Es importante mencionar que esta imagen se repite en la sección anterior (fig. 4.123), pero con el objetivo de facilitar la explicación del presente capítulo, es de suma importancia colocar nuevamente en la presente sección la mencionada imagen.

Por lo antes indicado, es imperioso justificar que el objetivo fundamental de nuestro trabajo se centra en mejorar estas zonas de baja recepción colocando los respectivos gap fillers, por ello se procede a realizar la nueva simulación, incluyendo los dispositivos amplificadores de señal.

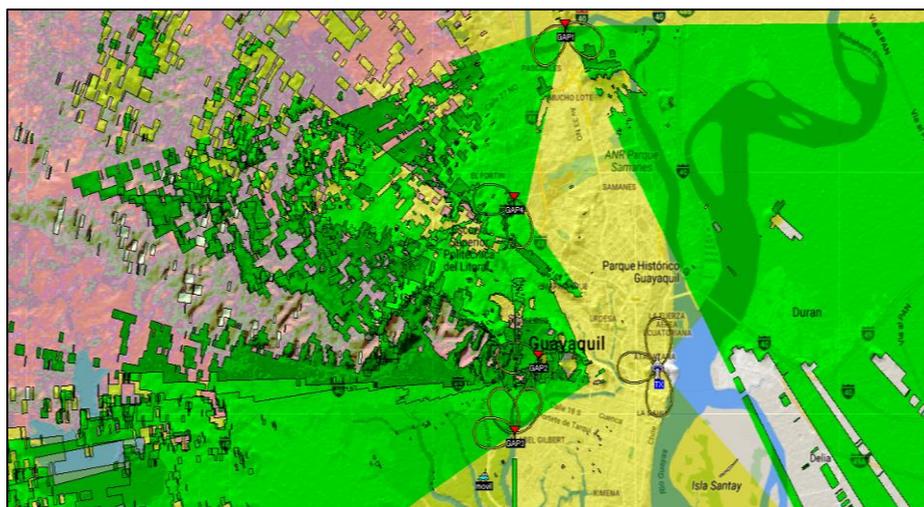


Figura 5. 2 Mapa Digitalizado considerando el transmisor del canal 25 y 4 Gap Fillers.

En la presente figura, se observa que la propagación o amplificación de la señal realizada por los Gap Fillers, utilizando la misma frecuencia que el transmisor, cubre las zonas en donde inicialmente no se llegaba solo con el Transmisor ubicado en Cerro del Carme, lo cual nos brinda una aproximación muy real del comportamiento de dichos equipos en forma conjunta.

5.1.3 Cuadro Descriptivo de los resultados obtenidos

En la verificación de cada uno de los puntos se tomaron distintos parámetros en consideración gracias a la capacidad del equipo de medición, para determinar la calidad de la señal en cada punto, dicha información se pudo tabular en la tabla 26.

Es importante mencionar que la tabla consta de los parámetros principales que permiten evaluar el comportamiento de la señal en un punto determinado, tales como MER, Intensidad de Campo, Potencia recibida, y el BER en distintas etapas del sistema, para las dos programaciones transmitidas.

PUNTO DE MEDICIÓN	CALIDAD DE IMAGEN	DIAGRAMA DE CONSTELACION	Intervalo de Guarda IG	MER	Capa A			Capa B			Potencia (dBm)	Intensidad de Campo (dBμV/m)
					BER antes de Reed Solomon	BER despues de Reed Solomon	BER antes de Reed Solomon	BER despues de Reed Solomon	BER antes de Reed Solomon	BER despues de Reed Solomon		
PUNTO 1 - Mucho Lote II	X	Tiene gran cantidad de errores, alta concentración de color amarillo y rojo	Pocas señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG con amplitud que pueda causar interferencia.	19,5	5,2 E-7	0,0 E-7	0,0 E-6	3,5 E-2	7,4 E-3	2,8 E-4	-68,79	47,46
PUNTO 2 - Centro-Sur	X	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Muy Pocas señales por multicamino, Dentro del IG.	27,2	2,1 E-6	0,0 E-7	0,0 E-6	3,5 E-3	2,2 E-3	4,6 E-7	-54,22	60,33
PUNTO 3 - Atarazana	X	Muy bajo nivel de ruido	Varias señales por multicamino, dentro del IG.	17,9	6,2 E-3	2,6 E-6	0,0 E-6	3,3 E-2	8,6 E-4	2,0 E-6	-41,42	50,69
PUNTO 4 - Urdesa Central	X	Muy bajo nivel de ruido	Varias señales por multicamino, dentro del IG.	32,4	0,0 E-7	0,0 E-7	0,0 E-6	3,4 E-4	1,6 E-5	0,0 E-7	-46,58	71,57
PUNTO 5 - Ceibos	X	No se detecta	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PUNTO 6 - Puertas del Sol	X	No se detecta	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PUNTO 7 - Suburbio	X	Tiene gran cantidad de errores, alta concentración de color amarillo y rojo	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG con amplitud que pueda causar interferencia	18,9	2,0 E-2	1,5 E-6	0,0 E-5	2,2 E-2	2,8 E-3	7,7 E-6	-66,63	50,29
PUNTO 8 - La Pradera	X	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG con amplitud que pueda causar interferencia	19,5	0,0 E-7	0,0 E-7	0,0 E-5	3,5 E-2	4,4 E-3	2,4 E-5	-64,51	52,81
PUNTO 9 - Bellavista	X	No se detecta	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PUNTO 10 - Casuarina	X	Tiene gran cantidad de errores, alta concentración de color amarillo y rojo	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG con amplitud que pueda causar interferencia	17,6	1,5 E-4	0,0 E-7	0,0 E-5	4,1 E-2	5,6 E-3	5,0 E-4	-68,14	47,86
PUNTO 11 - IETEL	X	Muy bajo nivel de ruido	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	26,9	2 E-4	0,0 E-8	0,0 E-6	5,8 E-3	7,6 E-4	1,3 E-7	-55,82	58,46
PUNTO 12 - Noguchi	X	Muy bajo nivel de ruido	Pocas señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	30,5	5,5 E-4	0,0 E-7	0,0 E-6	7,6 E-4	8,1 E-4	3,2 E-5	-51,58	66,22
PUNTO 13 - Centro	X	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	21,3	2,8 E-4	2,0 E-6	0,0 E-6	1,5 E-2	4,5 E-3	6,3 E-5	-56,87	55,42
PUNTO 14 - Centro - Roca	X	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	24,9	5,0 E-5	0,0 E-7	0,0 E-6	7,3 E-3	3,3 E-3	3,5 E-5	-58,22	58,18
PUNTO 15 - Centro Tarqui	X	Muy bajo nivel de ruido	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	27,3	3,1 E-4	0,0 E-7	0,0 E-5	1,5 E-3	2,6 E-4	0,0 E-7	-53,27	63,01
PUNTO 16 - Centro - Riobamba	X	Muy bajo nivel de ruido	Muy Pocas señales por multicamino, Dentro del IG.	27,6	0,0 E-7	0,0 E-7	0,0 E-5	1,7 E-3	3,7 E-4	0,0 E-7	-50,83	67,6
PUNTO 17 - Centro - Oct	X	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	25,2	2,8 E-4	0,0 E-7	0,0 E-6	3,6 E-3	8,6 E-4	3,2 E-7	-53,83	62,85
PUNTO 18 - Centro - Rocafuerte	X	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Pocas señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	24,1	3,8 E-4	0,0 E-6	0,0 E-5	8,9 E-3	2,9 E-3	5,9 E-7	-57,52	60,27
PUNTO 19 - Centro - Aguirre	X	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	18	1,8 E-4	0,0 E-6	0,0 E-5	4,2 E-2	6,2 E-3	3,1 E-4	-63,03	51,56
PUNTO 20 - Centro - Malecón	X	Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	20,7	2,1 E-3	0,0 E-6	0,0 E-5	1,4 E-2	3,4 E-3	1,8 E-5	-60,5	57,07
PUNTO 21 - Centro - Este	X	Muy bajo nivel de ruido	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	23,1	1,0 E-3	0,0 E-7	0,0 E-5	1,4 E-2	4,8 E-3	5,6 E-5	-61,3	55,38
PUNTO 22 - Centro - Los Ríos	X	Muy bajo nivel de ruido	Pocas señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	27,1	0,0 E-7	0,0 E-7	0,0 E-5	1,2 E-3	8,5 E-4	4,6 E-7	-57,19	58,94
PUNTO 23 - Estadio Monumental	X	Tiene gran cantidad de errores, alta concentración de color amarillo y rojo	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG con amplitud que pueda causar interferencia	19	0,0 E-7	0,0 E-7	0,0 E-5	3,4 E-2	4,7 E-3	1,4 E-5	-66,51	48,56
PUNTO 24 - Cerro Colorado	X	No se detecta	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabla 26: Resultados de las observaciones en campo

En la tabla anterior, se puede apreciar que aquellos puntos que tienen el parámetro de Calidad de Imagen con color rojo, son aquellos en donde no

se pudo de modular la señal del canal 25. Por otro lado, aquellos puntos que en dicho parámetro tienen un color amarillo, la señal se recibe pixeleada o en su defecto se congela en distintos intervalos de tiempo. La tabla 26 se podrá observar completamente en el Anexo 1.

5.2 Descripción de las Zonas de Sombras

Luego del análisis realizado en el presente trabajo y con los distintos datos de cada uno de los puntos, se ha podido determinar técnicamente cuales son las zonas de sombras ubicadas en la ciudad de Guayaquil, correspondiente a las mediciones del canal 25. Es importante mencionar que además de la verificación de los parámetros técnicos, se consideró la demodulación de la señal en un televisor cargado con el estándar ISDB-Tb.

Se ha considerado determinar como zona de sombra, aquellos lugares en donde no se ha podido de modular la señal, y en donde los niveles de intensidad de campo y de MER son bastante bajos. Se observa que existen zonas en donde se aprecian señales que llegan fuera del intervalo de guarda, donde dichas señales tienen una amplitud que causan interferencia por multicamino en la señal receptada. Por lo antes mencionado, a continuación se determinan que las zonas de sombras son:

Punto 1 – Mucho Lote II:

- Intensidad de Campo: 47,46dB μ V/m
- MER: 19,5dB

Punto 5 – Ceibos:

- No se pudo obtener datos, debido a la mala calidad de señal.

Punto 6 – Puertas del Sol:

- No se pudo obtener datos, debido a la mala calidad de señal.

Punto 7 – Suburbio:

- Intensidad de campo: 50,29dB μ V/m
- MER: 18,9dB

Punto 9 – Bellavista:

- No se pudo obtener datos, debido a la mala calidad de señal.

Punto 10 – Casuarina:

- Intensidad de campo: 47,86dB μ V/m
- MER: 17,6dB

Punto 23 – Estadio Monumental:

- Intensidad de campo: 48,56dB μ V/m
- MER: 19dB

Punto 24 – Cerro Colorado:

- No se pudo obtener datos, debido a la mala calidad de señal.

Se puede indicar que de las 24 mediciones realizadas, 8 de ellas, han sido determinadas como zonas de sombras dentro de la ciudad de Guayaquil la mayoría de ellas en el límite urbano de la ciudad.

5.3 Diseño de la Red de Frecuencia Única (RUF)

Una de las consideraciones más importantes en el diseño de una red de frecuencia única, es la sincronía que debe de existir en toda la red de transmisión, tanto en tiempo como en frecuencia. Cualquier falla en la sincronización antes mencionada, causará que la red opere incorrectamente.

Razón por la cual, en el presente proyecto presentamos a continuación, la topología que creemos conveniente utilizar para el escenario de la ciudad de Guayaquil (véase sección 3.2.3.3).

5.3.1 Factibilidad Operativa

Topología de Red

La red de difusión que se utilizara para cubrir la zonas de sombras, está formada por los Gap Fillers que recibirán la señal que proviene del transmisor, considerando que entre cada uno de los Gap Fillers y el Tx existe línea de vista, los cuales cubrirán una área limitada de la ciudad de

Guayaquil. Es importante mencionar que para el diseño se considera el transmisor principal que actualmente se encuentra operando en canal 25, ubicado en Cerro del Carmen.

De acuerdo a lo indicado, y considerando las zonas de sombras en la ciudad, se ha determinado la necesidad de colocar 4 Gap Fillers, tal como lo describe la siguiente figura 5.3.

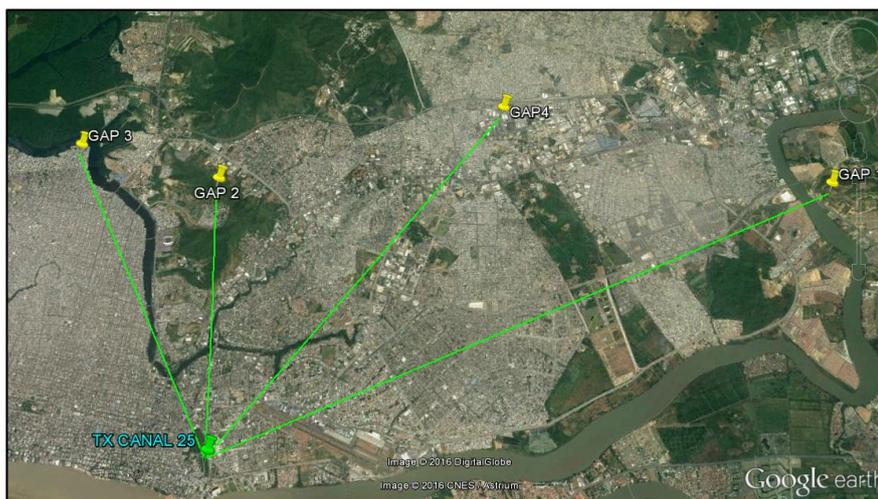


Figura 5. 3 Descripción grafica de la topología de red

En la figura adjunta, se puede observar que se forma una red tipo Estrella, la cual estará formada por los Gap Fillers ubicados en los siguientes puntos:

Gap 1:

- Latitud: 2° 3'21.94"S
- Longitud: 79°55'23.05"O
- Altura: 100mts (ASNM)
- Sector: Noreste via a la Aurora
- Distancia entre Tx y Gap Filler: 14,4kmts.

Gap 2:

- Latitud: 2°10'34.02"S
- Longitud: 79°56'4.47"O
- Altura: 160mts (ASNM)
- Sector: Cerro San Eduardo – Ceibos
- Distancia entre Tx y Gap Filler: 5,75kmts.

Gap 3:

- Latitud: 2°12'12.94"S
- Longitud: 79°56'40.93"O
- Altura: 160mts (ASNM)
- Sector: Suroeste – La perimetral
- Distancia entre Tx y Gap Filler: 7,41kmts.

Gap 4:

- Latitud: 2° 7'7.74"S
- Longitud: 79°56'42.19"O
- Altura: 40mts (ASNM)
- Sector: Noroeste – Casuarina
- Distancia entre Tx y Gap Filler: 9,62kmts

Es importante mencionar que el estudio, lugar donde se genera la información y por ende el *Transport Stream* y el *Broadcast Transport stream*, se encuentra ubicado en el mismo lugar que el transmisor, por lo tanto no existirá la necesidad de comunicar estos sitios mediante un enlace microonda, lo cual es una gran ventaja frente a otros escenarios.

Considerando la normativa técnica (Tabla 9), en donde se estipula que la duración del intervalo de guarda depende de la configuración de dicho intervalo y el Modo de operación, es necesario realizar el siguiente calculo:

$$v = \frac{e}{t}$$

Donde v corresponde a la velocidad con que viaja la onda, asumiendo que es la velocidad de la luz = 3×10^8 m/s; e es la distancia que existe entre el transmisor y cada uno de los Gap Fillers y t será el tiempo que demora el bit en llegar a cada gap filler desde el transmisor.

Por otro lado, es pertinente indicar que actualmente el transmisor se encuentra operando con un Intervalo de Guarda de 1/8 configurado en Modo 3, y según indica la normativa técnica, el tiempo estimado de duración de dicho intervalo de guarda será de 126 μ seg; por ende a continuación se presenta el cálculo aproximado en viajar un bit desde el transmisor hacia cada uno de los Gap Filler:

- *Calculo del tiempo en que toma llegar un bit desde el Transmisor hasta el Gap Filler 1:*

$$t_{Tx-Gap1} = \frac{14400 \text{ mts}}{3 \times 10^8 \frac{\text{mts}}{\text{seg}}}$$

$$t_{Tx-Gap1} = 48 \mu\text{s}$$

- *Calculo del tiempo en que toma llegar un bit desde el Transmisor hasta el Gap Filler 2:*

$$t_{Tx-Gap2} = \frac{5750 \text{ mts}}{3 \times 10^8 \frac{\text{mts}}{\text{seg}}}$$

$$t_{Tx-Gap2} = 19,16 \mu\text{s}$$

- *Calculo del tiempo en que toma llegar un bit desde el Transmisor hasta el Gap Filler 3:*

$$t_{Tx-Gap3} = \frac{7410 \text{ mts}}{3 \times 10^8 \frac{\text{mts}}{\text{seg}}}$$

$$t_{Tx-Gap3} = 24,7 \mu\text{s}$$

- *Calculo del tiempo en que toma llegar un bit desde el Transmisor hasta el Gap Filler 4:*

$$t_{Tx-Gap4} = \frac{9620 \text{ mts}}{3 \times 10^8 \frac{\text{mts}}{\text{seg}}}$$

$$t_{Tx-Gap4} = 32,06 \mu\text{s}$$

De acuerdo a lo descrito, se puede indicar que dentro del análisis de nuestra red, considerando cada uno de los Gap Filler, el tiempo de arribo del bit es menor que el tiempo de duración del intervalo de guarda, es decir, si consideramos que Gap Filler lo ubicaremos a 14,4 Kmts de distancia (considerando el GAP4 como el más lejano) del transmisor, el bit llegara al mismo en un tiempo aproximado de 48 μ seg.

De igual manera y realizando un análisis similar entre los Gap Fillers, se puede apreciar en la figura 5.4 que el tiempo de arribo de bit entre dichos Gap Filler, se encuentra por debajo de la duración del intervalo de guarda. Se ha considerado como referencia el GAP3 debido a que es el más alejado de todos los demás.

A continuación se presentan los cálculos necesarios para demostrar los resultados de la figura.

$$t_{Gap3-Gap2} = \frac{3260 \text{ mts}}{3 \times 10^8 \frac{\text{mts}}{\text{seg}}}$$

$$t_{Gap3-Gap2} = 10,70 \mu\text{s}$$

$$t_{Gap3-Gap1} = \frac{16500 \text{ mts}}{3 \times 10^8 \frac{\text{mts}}{\text{seg}}}$$

$$t_{Gap3-Gap1} = 55,16 \mu\text{s}$$

$$t_{Gap3-Gap4} = \frac{9360 \text{ mts}}{3 \times 10^8 \frac{\text{mts}}{\text{seg}}}$$

$$t_{Gap3-Gap4} = 32,0 \mu\text{s}$$

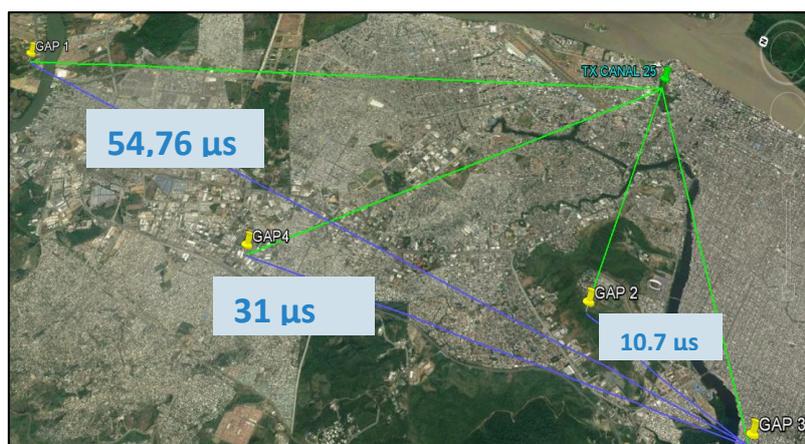


Figura 5. 4 Tiempo de arribo de bit entre Transmisor y Gap Fillers

Sincronización de la Red

En el presente proyecto, se propone desarrollar una red de tipo “Repetición”, descrita en la sección 3.3.4.2, debido a que la información transmitida por el Transmisor a cada uno de los repetidores o Gap Fillers, se realiza utilizando la misma frecuencia RF del canal 25. Esta tipología de red tiene la gran ventaja de que permite llegar a las zonas de sombras, sin la necesidad de tener enlaces dedicados para llegar a los Gap Fillers, puesto que son alimentados por la misma señal del transmisor.

Debido a que la geografía de la ciudad de Guayaquil y considerando la ubicación apropiada de cada uno de los Gap Fillers, es posible aplicar este tipo de red.

Para evitar la posible interferencia que pueda causar la señal de los retransmisores o Gap Fillers, se configurara en cada uno de ellos el Cancelador de Eco, que a pesar que aumenta el procesamiento de los equipos, permite eliminar las posibles interferencias mencionadas.

Parámetros de configuración

Para mejorar la selectividad del canal y reducir los riesgos de realimentación, la señal de entrada se pasa a frecuencia intermedia para ser convertida, de nuevo, a la frecuencia del canal de emisión idéntica a la de recepción y, posteriormente, se amplifica hasta la potencia de emisión y se envía al sistema radiante.

Por el hecho de trabajar a la misma frecuencia, el uso de gap-fillers impone restrictivas condiciones en cuanto aislamiento entre la entrada y la salida del reemisor, el nivel mínimo de señal necesario a la entrada y la ganancia que es posible conseguir.

La misión del reemisor isofrecuencia para TDT es la de cubrir huecos en la cobertura de una red ISDB-Tb. Para ello se debe recibir suficiente nivel de señal múltiple que se desee remitir. La señal se recibe por una antena de recepción y, una vez filtrada y amplificada se emite por una antena de emisión en el mismo canal por el que se ha recibido. El nivel de potencia a la entrada de los equipos necesario es de -47 dBm +- 15 dB.

El problema principal de un reemisor es el de la realimentación. El aislamiento entre las ondas emitidas y recibidas no es ideal, las ondas emitidas por la antena transmisora son recibidas por la antena receptora y amplificadas por el reemisor en un proceso recursivo que podría saturar al sistema.

En función del aislamiento entre la transmisión y la recepción en el centro, y de las características del reemisor, en particular de la utilización o no de

un cancelador de ecos, la ganancia del reemisor estará limitada a un valor más o menos bajo.

Debido a que utilizaremos una red de Repetición, los parámetros técnicos del transmisor son los indicados en la tabla 20, mientras que los parámetros de los Gap Fillers son:

Parámetros Técnicos	
Polarización de la Antena	Horizontal
Número de Dipolos	2
Ganancia	9dBi
Potencia	250W
Perdidas de la Línea	2dB
Azimut	30°
Angulo de abertura de cada panel	30°
Gap Filler 1	2 Paneles
Gap Filler 2	1 Panel
Gap Filler 3	3 Paneles
Gap Filler 4	2 Paneles

Tabla 27: Parámetros técnicos configurados para cada Gap Filler

Es importante mencionar que los datos descritos en la tabla presentada, han sido consolidados en base a los resultados obtenidos en la simulación, de tal manera que a pesar que no se tiene mediciones en campo del comportamiento de cada señal emitida por los Gap Fillers, se tiene una aproximación facilitada por el software utilizado.

5.3.2 Factibilidad Política

En la actualidad el control y la regulación de las telecomunicaciones dentro del país, es llevado a cabo por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), el cual es el ente oficial de establecer todas las normativas legales que rigen el ámbito de las telecomunicaciones, según lo establecido en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones – LOT publicada en el Registro Oficial No. 4399 de 18 de febrero del 2015.

El 14 de agosto del 2015 fue emitida la Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre, la cual permite establecer las condiciones técnicas necesarias para la operación de servicios de TDT, de conformidad con el estándar ISDB-Tb adoptado en marzo del 2010.

En la mencionada normativa, describe la utilización de las Estaciones Auxiliares o también denominadas Gap Fillers, considerado como un dispositivo que permite cubrir las zonas de sombras existentes dentro de un área de cobertura previamente autorizada por el ente antes mencionado; de igual manera se hace énfasis en que la operación de los mencionados repetidores, no deberán causar interferencia a otros servicios y deberán ser autorizados su funcionamiento por el ARCOTEL.

De igual manera en la mencionada normativa, reconoce a una Red de Frecuencia Única (SFN) como un conjunto de dispositivos compuesto por Transmisores y repetidores de un sistema de TDT.

Otra consideración importante antes de analizar la factibilidad política, es que la Constitución de la República del Ecuador dispone el acceso universal a las tecnologías de información y comunicación como derecho de todas las personas en forma individual o colectiva; y establece que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado, irrenunciable e inembargable del estado.

Considerando que en la actualidad se ha realizado una distribución Multifrecuencial, a través de todo el país en cuanto a los servicios de televisión terrestre, tanto analógica como digital, lo cual no permite optimizar el uso del espectro radioeléctrico tomando en cuenta las bondades ofrecidas por la penetración de la televisión digital, es necesario desarrollar nuevas estrategias que permitan brindar el acceso al servicio de comunicación de televisión a las zonas en donde el servicio no puede llegar con el despliegue actual de la tecnología.

Por lo antes indicado, se ha realizado un análisis consensuado en cuanto a desarrollar estas estrategias, que estén dentro del ámbito normativo del servicio de televisión, en donde se observa que se permite, según lo estipulado en la normativa antes mencionada, desarrollar una Red de Frecuencia Única, para operar en la ciudad de Guayaquil.

Factibilidad Política – Perspectiva Técnica

Se ha analizado que es factible cubrir las zonas de sombras descubiertas en el proyecto, cumpliendo con lo establecido en la normativa, es decir, mejorar la Intensidad de Campo (mínimo 51dB μ V/m), mejorar el MER (mínimo 32dB), cumplir con los intervalos de guarda establecidos para evitar la interferencia por multicamino y sobre todo utilizar la frecuencia previamente concesionada para mejorar la cobertura dentro de la ciudad de Guayaquil, esto sin causar interferencia a estaciones o servicios legalmente concesionados en otras zonas o dentro de la misma ciudad.

En cuanto a la canalización de bandas, que es un aspecto importante relacionado al uso del espectro, se puede decir que se cumple a cabalidad con la distribución y concesión realizada hasta la actualidad, e incluso se evita la necesidad de frecuencias auxiliares para llevar la información del transmisor a los repetidores, gracias a la tipología presentada en el presente proyecto.

Otro aspecto técnico importante a considerar, es que una vez que se mejore la calidad del servicio y el acceso al mismo, se podrá cumplir a cabalidad con lo establecido en la normativa técnica, en cuanto a la obligatoriedad de la transmisión del servicio *one-seg* o televisión móvil, debido a que se mejorara la recepción de dicho servicio en toda la ciudad.

Nuevamente es importante mencionar, que a pesar de que la implementación de una red SFN en la ciudad de Guayaquil puede ser factible desde el punto de vista técnico y político, es necesario contar con permisos facilitados por ARCOTEL, antes de proceder con el despliegue de los equipos necesarios.

Factibilidad Política – Perspectiva Económica

Desde el punto de vista económico, se han establecido un proceso para la limitación de importación y ensamblado de Televisores que no cuenten con el estándar ISDB-Tb, así como se ha trabajado de forma consensuada a través de foros internacionales para homogenizar las características de los receptores de televisión, de tal manera que se fomente una economía de escala que brinde mayor comodidad al usuario, en relación a los costos

de cada receptor, considerando que en la actualidad, a nivel de Sudamérica existen 9 países que han adoptado el mencionado estándar.

Otro aspecto interesante, desde el punto de vista económico, es que existe un promedio de 1,1 televisores por hogar en el Ecuador, y que dos tercios de la población, ha registrado que tienen mayor preferencia por la televisión frente a la radio, diarios y hasta internet, lo cual a su vez abre un nicho bastante interesante para los proveedores de este servicio.

Considerando que la gran mayoría de la Matriz de estaciones de televisión se encuentran en la ciudad de Guayaquil, hace aún más atractivo completar la cobertura dentro de la ciudad, debido a que sus clientes que pautan para este servicio, estarán satisfechos con la información de que su publicidad tendrá la capacidad de llegar a toda la población guayaquileña, mejorando la cobertura actual de las demás estaciones de televisión que no cuenten con esta red.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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 amplio.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda ampliar el estudio realizado, para verificar la operación de los demás canales que se encuentran actualmente operando en la ciudad de Guayaquil.
2. Se recomienda analizar con mayor detenimiento el límite estipulado en la normativa técnica sobre el parámetro MER, debido a que en el presente estudio se pudo observar que en la mayoría de los puntos, dicho valor está por debajo de los 32dB, y a pesar de ello la recepción de la señal es adecuada.
3. Se recomienda sugerir a los entes de control del servicio de televisión abierta, que se considere socializar las zonas de sombras descritas en el presente trabajo, con el fin de que se pueda mejorar la cobertura en dichas zonas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARCOTEL, «RESOLUCION ARCOTEL-2015-0301,» QUITO, 2015.
- [2] Carvajal, M. Alvarado, A., «MIRADA UCSG,» 21 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://miradaucsg.wordpress.com/>. [Último acceso: 2016].
- [3] Digital Broadcasting Experts Group, «Dibeg,» Septiembre 1997. [En línea]. Available: <http://www.dibeg.org/>.
- [4] Rafael Sotelo, Diego Duran, Jose Joskowicz, «Sistema de Transmisión ISDB-T,» *Memoria de Trabajos de Difusion Cientifica y Tecnica*, p. 11, 2011.
- [5] GINGA, «GINGA,» [En línea]. Available: <http://www.ginga.org.br/es>.
- [6] Asociacion Brasilena de Normas Tecnicas ABNT, «ABNT NBR15601,» Rio de Janeiro, 2007.
- [7] INTERNATIONAL TELECOMUNICACION UNION REDIOCOMUNICACION SECTOR ITU-R, «EFECTOS DE LA PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO EN EL DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE RADIOENLACES DIGITALES CON VISIBILIDAD DIRECTA,» de *RECOMENDACIÓN UIT-R F.1093-1**, 1997.
- [8] N. M. C. D. Charalambous, «Stochastic Models for Short-Term Multipath Fading Channels: Chi-square and Ornstein-Uhlenbeck Processes,» de *Conference on Decision & Control*, Phonix, Arizona, 1999.
- [9] R. C. N. Valencia, «TRANSMISION DE SENALES DE TDT DIGITAL PARA DISPOSITIVOS MOVILES,» ESPOL, Guayaquil, 2012.
- [10] S. B. WEINSTEIN, «Data Transmission by Frequency-Division Multiplexing Using The Discrete Fourier Transform,» *IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATION TECHNOLOGY*, pp. 628-634, 1971.
- [11] H. M. A. & S. R. Campanella, «Modulacion QPSK no ideal en UTRA-TDD,» *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, pp. 97-107, 2011.
- [12] I. H. Rioja, «Procesado de Senales en Comunicaciones PSC,» Septiembre 2008. [En línea]. Available: <http://aholab.ehu.es/users/inma/>.
- [13] J. Stott, «The How and Why of COFDM,» *BBC Research and Development*, pp. 1-14, 1998.
- [14] A. J. CARDENAS, «MULTIPLEXACION POR DIVISION DE FRECUENCIA ORTOGONAL CODIFICADA (COFDM),» Valdivia, 2005.
- [15] M. Kusunoki, «RETRANSMISSÃO DO SINAL DE TV DIGITAL NO PADRÃO,» UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, CURITIBA, 2013.
- [16] D. Tello, «Planificación Radio de Sistemas TDT: Estudio Práctico,» UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA, CATALUNYA, 2009.

- [17] R. Arthur, Y. Iano, S.R.M Carvalho y R.F. Larico, «Planificación de la expansión del servicio de retransmisión de TV digital en Brasil usando redes SFN,» *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, pp. 573-578, 2007.
- [18] G. Martínez, «OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA CON EL NUEVO ESTÁNDAR DVB-T2,» UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA, VALENCIA, 2009.
- [19] TELECO, «TELECO - Inteligencia en Telecomunicaciones del Brasil,» 3 Diciembre 2012. [En línea]. Available: www.teleco.com.br/es/es_tvdigital.asp.
- [20] DiBEG, «Digital Broadcasting Experts Group,» 6 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.dibeg.org/world/world.html>.
- [21] R. Paucar, J. Fernandez, G. Kemper, «Estudio de métodos y modelos matemáticos para la simulación de Redes,» Universidad Nacional de Ingeniería (INICTEL-UNI), Lima, 2010.
- [22] ARCOTEL, «NORMATIVA TECNICA PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSION DE TELEVISION ABIERTA ANALOGICA,» AGENCIA NACIONAL DE REGULACION Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES, QUITO, 2015.
- [23] L. Zou, «Automatic Detection of the Guard Interval Length in OFDM System,» Thomson Broadband R & D, Beijing, 2006.
- [24] CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008.
- [25] U.-R. BS.561-2, «Definiciones de la radiación en radiodifusión,» 1986.
- [26] J. Verges, «Planificación de nuevas redes de radiodifusión de TDT y estudio del dividendo digital,» Abertistelecom, 2010.
- [27] UIT-R SM.378-7, «Mediciones de la intensidad de campo en las estaciones,» 2007.
- [28] P.1546-4, UIT-R, «Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3000 MHz,» Ginebra, 2009.
- [29] Schwarz, Rohde &, «Brochure R&S THU9,» Munchen, 2013.
- [30] R. Maroja, «Digital Television Broadcasting Systems Testing in Brazil,» de *Interregional Seminar on the Transition from SECAM to Digital TV*, Campinas, 2000.
- [31] Maurício V. Guerral; Carlos V. Rodriguez R.II; Luiz da Silva Mello, «SFN channel measurements in Brazil,» *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, Junio 2013.
- [32] R&S, *R&S ETH*, Munich, 2014.
- [33] ARA, «Antenna Research Association,» 2010. [En línea]. Available: www.ara-inc.com.
- [34] C. d. I. d. Chile, «Demostración de mediciones de intensidad campo de televisión digital en la ciudad de Santiago,» Santiago de Chile, 2013.

- [35] García, J; Rodríguez, O; Castillo, J., «Desempeño de Modelos de Propagación en Comunicación Móvil para la zona de Caldas,» de *X Congreso Internacional de Telecomunicaciones*, Valdivia, 2002.
- [36] UIT-R, «Métodos de Recomendación UIT-R P.1546-5 Predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz,» Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, 2013.
- [37] 3WAY, «3WAY.com,» 28 Julio 2014. [En línea]. Available:
http://www.3way.com.ar/descargas/archivos/documento_informativo_tym.pdf.
- [38] C. d. I. d. Chile, «Demostracion de mediciones de intensidad de campo de television digital en la ciudad de Santiago,» Santiago de Chile, 2013.

ANEXOS

ANEXO 1

TABLA DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES REALIZADAS

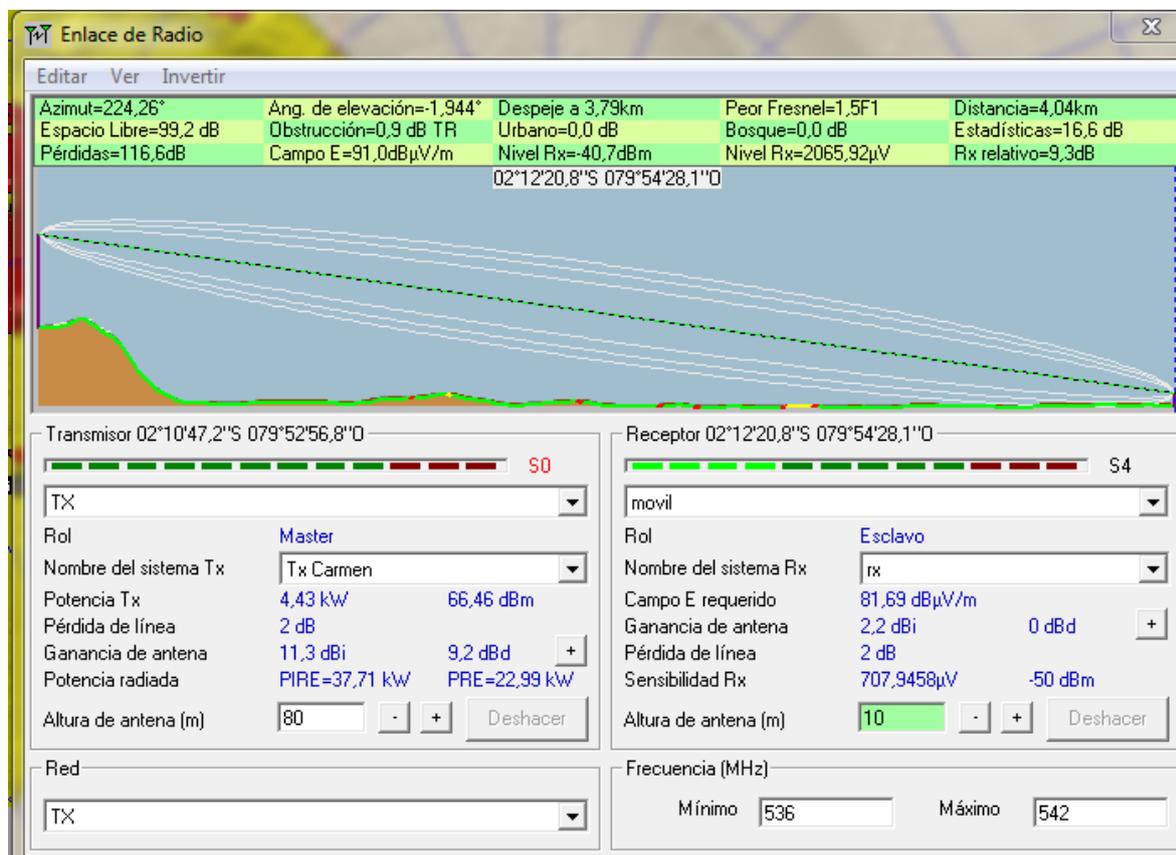
RESULTADOS COMPILADOS DE MEDICION								Capa A			Capa B			Potencia (dBm)	Intensidad de Campo (dBμV/m)
PUNTO DE MEDICIÓN	CALIDAD DE IMAGEN	PIXEL	FREZZE	SIN SEÑAL	DIAGRAMA DE CONSTELACION	Intervalo de Guarda IG	MER	BER antes de Viterbi	BER antes de Reed Solomon	BER despues de Reed Solomon	BER antes de Viterbi	BER antes de Reed Solomon	BER despues de Reed Solomon		
PUNTO 1 - Mucho Lote II	X		X		Tiene gran cantidad de errores, alta concentración de color amarillo y rojo	Pocas señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG con amplitud que pueda causar interferencia.	19,5	5,2 E-7	0,0 E-7	0,0 E-6	3,5 E-2	7,4 E-3	2,8 E-4	-68,79	47,46
PUNTO 2 - Centro-Sur	X				Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Muy Pocas señales por multicamino, Dentro del IG.	27,2	2,1 E-6	0,0 E-7	0,0 E-6	3,5 E-3	2,2 E-3	4,6 E-7	-54,22	60,33
PUNTO 3 - Atarazana	X				Muy bajo nivel de ruido	Varias señales por multicamino, dentro del IG.	17,9	6,2 E-3	2,6 E-6	0,0 E-6	3.3 E-2	8,6 E-4	2.0 E-6	-41,42	50,69
PUNTO 4 - Urdesa Central	X				Muy bajo nivel de ruido	Varias señales por multicamino, dentro del IG.	32,4	0,0 E-7	0,0 E-7	0,0 E-6	3,4 E-4	1.6 E-5	0,0 E-7	-46,58	71,57
PUNTO 5 - Ceibos	X			X	No se detecta	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PUNTO 6 - Puertas del Sol	X			X	No se detecta	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PUNTO 7 - Suburbio	X	X			Tiene gran cantidad de errores, alta concentración de color amarillo y rojo	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG con amplitud que pueda causar interferencia	18,9	2,0 E-2	1,5 E-6	0,0 E-5	2,2 E-2	2,8 E-3	7,7 E-6	-66,63	50,29
PUNTO 8 - La Pradera	X				Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG con amplitud que pueda causar interferencia	19,5	0,0 E-7	0,0 E-7	0,0 E-5	3,5 E-2	4,4 E-3	2,4 E-5	-64,51	52,81

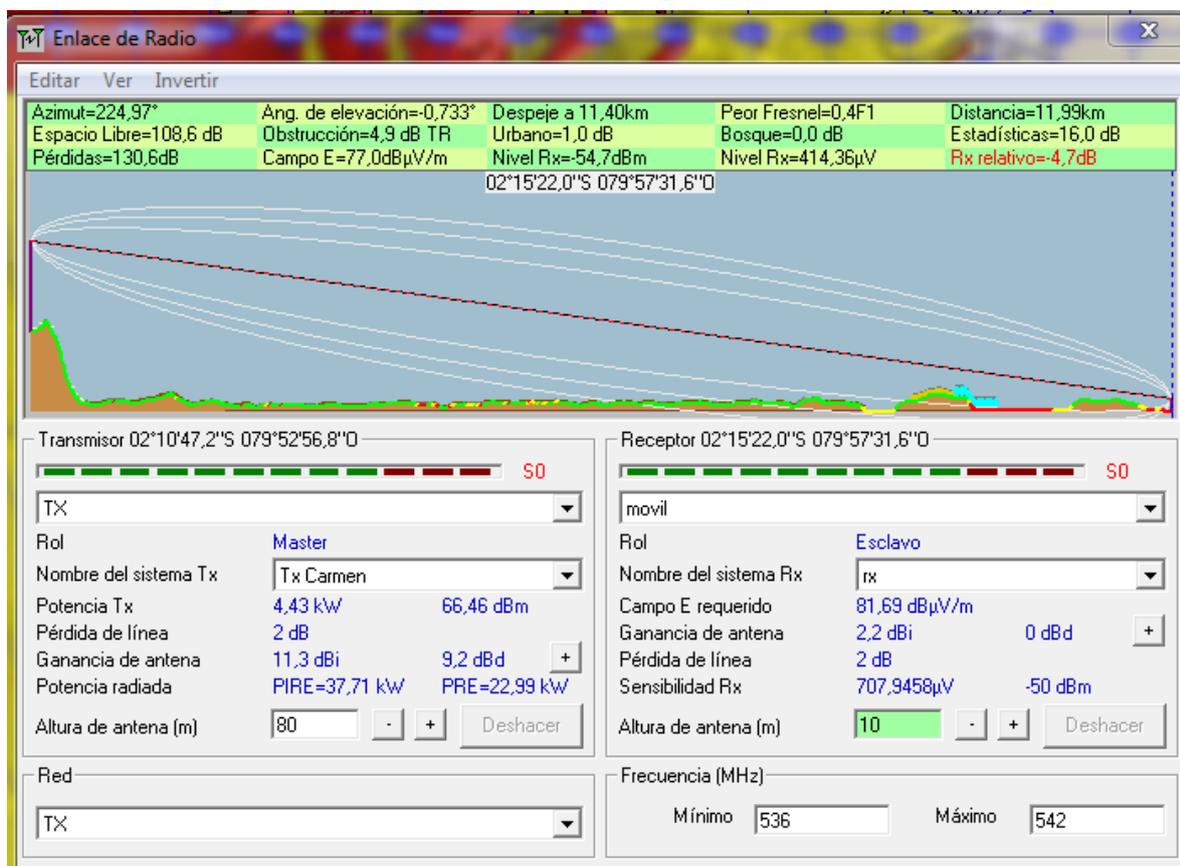
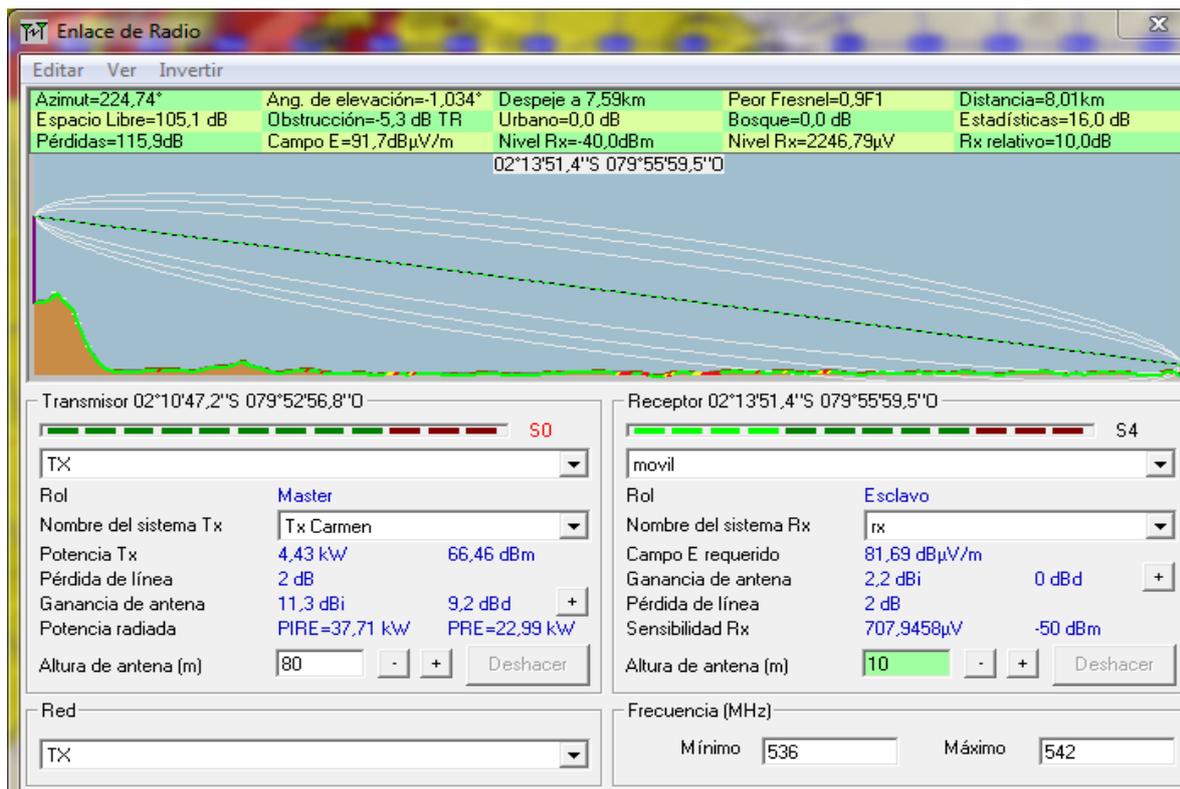
RESULTADOS COMPILADOS DE MEDICION							Capa A			Capa B			Potencia (dBm)	Intensidad de Campo (dBμV/m)	
PUNTO DE MEDICIÓN	CALIDAD DE IMAGEN	PIXEL	FREZZE	SIN SEÑAL	DIAGRAMA DE CONSTELACION	Intervalo de Guarda IG	MER	BER antes de Viterbi	BER antes de Reed Solomon	BER despues de Reed Solomon	BER antes de Viterbi	BER antes de Reed Solomon			BER despues de Reed Solomon
PUNTO 9 – Bellavista	X			X	No se detecta	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PUNTO 10 – Casuarina	X	X			Tiene gran cantidad de errores, alta concentración de color amarillo y rojo	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG con amplitud que pueda causar interferencia	17,6	1,5 E-4	0,0 E-7	0,0 E-5	4,1 E-2	5,6 E-3	5,0 E-4	-68,14	47,86
PUNTO 11 – IETEL	X				Muy bajo nivel de ruido	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	26,9	2 E-4	0,0 E-8	0,0 E-6	5,8 E-3	7,6 E-4	1,3 E-7	-55,82	58,46
PUNTO 12 – Noguchi	X				Muy bajo nivel de ruido	Pocas señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	30,5	5,5 E-4	0,0 E-7	0,0 E-6	7,6 E-4	8,1 E-4	3,2 E-5	-51,58	66,22
PUNTO 13 – Centro	X				Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	21,3	2,8 E-4	2,0 E-6	0,0 E-6	1,5 E-2	4,5 E-3	6,3 E-5	-56,87	55,42
PUNTO 14 – Centro – Roca	X				Bajo nivel de ruido, predomina color celeste.	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	24,9	5,0 E-5	0,0 E-7	0,0 E-6	7,3 E-3	3,3 E-3	3,5 E-5	-58,22	58,18
PUNTO 15 – Centro Tarqui	X				Muy bajo nivel de ruido	Varias señales por multicamino, existen señales receptadas fuera del IG pero con amplitud que no causa interferencia.	27,3	3,1 E-4	0,0 E-7	0,0 E-5	1,5 E-3	2,6 E-4	0,0 E-7	-53,27	63,01
PUNTO 16 – Centro – Riobamba	X				Muy bajo nivel de ruido	Muy Pocas señales por multicamino, Dentro del IG.	27,6	0,0 E-7	0,0 E-7	0,0 E-5	1,7 E-3	3,7 E-4	0,0 E-7	-50,83	67,6

ANEXO 2 SIMULACIÓN RADIO MOBILE

TRANSMISOR EN EL CERRO DEL CARMEN Y 4 GAP FILLER EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

PARÁMETROS TÉCNICOS Y VALORES DE INTENSIDAD DE CAMPO





Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

Azimut=247,14°	Ang. de elevación=-1,924°	Despeje a 3,82km	Peor Fresnel=1,6F1	Distancia=4,04km
Espacio Libre=99,2 dB	Obstrucción=-3,9 dB TR	Urbano=0,0 dB	Bosque=0,0 dB	Estadísticas=16,7 dB
Pérdidas=111,9dB	Campo E=95,7dBμV/m	Nivel Rx=-36,0dBm	Nivel Rx=3548,44μV	Rx relativo=14,0dB

02°11'38,0"S 079°54'57,4"O

Transmisor 02°10'47,2"S 079°52'56,8"O

S0

TX

Rol: Master

Nombre del sistema Tx: Tx Carmen

Potencia Tx: 4,43 kW / 66,46 dBm

Pérdida de línea: 2 dB

Ganancia de antena: 11,3 dBi / 9,2 dBd

Potencia radiada: PIRE=37,71 kW / PRE=22,99 kW

Altura de antena (m): 80

Receptor 02°11'38,0"S 079°54'57,4"O

S6

movil

Rol: Esclavo

Nombre del sistema Rx: rx

Campo E requerido: 81,69 dBμV/m

Ganancia de antena: 2,2 dBi / 0 dBd

Pérdida de línea: 2 dB

Sensibilidad Rx: 707,9458μV / -50 dBm

Altura de antena (m): 10

Red: TX

Frecuencia (MHz): Mínimo 536 Máximo 542

Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

Azimut=247,20°	Ang. de elevación=-0,970°	Despeje a 7,92km	Peor Fresnel=1,3F1	Distancia=8,03km
Espacio Libre=105,1 dB	Obstrucción=4,4 dB TR	Urbano=1,5 dB	Bosque=0,0 dB	Estadísticas=16,3 dB
Pérdidas=127,4dB	Campo E=80,2dBμV/m	Nivel Rx=-51,5dBm	Nivel Rx=595,53μV	Rx relativo=-1,5dB

02°12'27,9"S 079°56'56,6"O

Transmisor 02°10'47,2"S 079°52'56,8"O

S0

TX

Rol: Master

Nombre del sistema Tx: Tx Carmen

Potencia Tx: 4,43 kW / 66,46 dBm

Pérdida de línea: 2 dB

Ganancia de antena: 11,3 dBi / 9,2 dBd

Potencia radiada: PIRE=37,71 kW / PRE=22,99 kW

Altura de antena (m): 80

Receptor 02°12'27,9"S 079°56'56,6"O

S0

movil

Rol: Esclavo

Nombre del sistema Rx: rx

Campo E requerido: 81,69 dBμV/m

Ganancia de antena: 2,2 dBi / 0 dBd

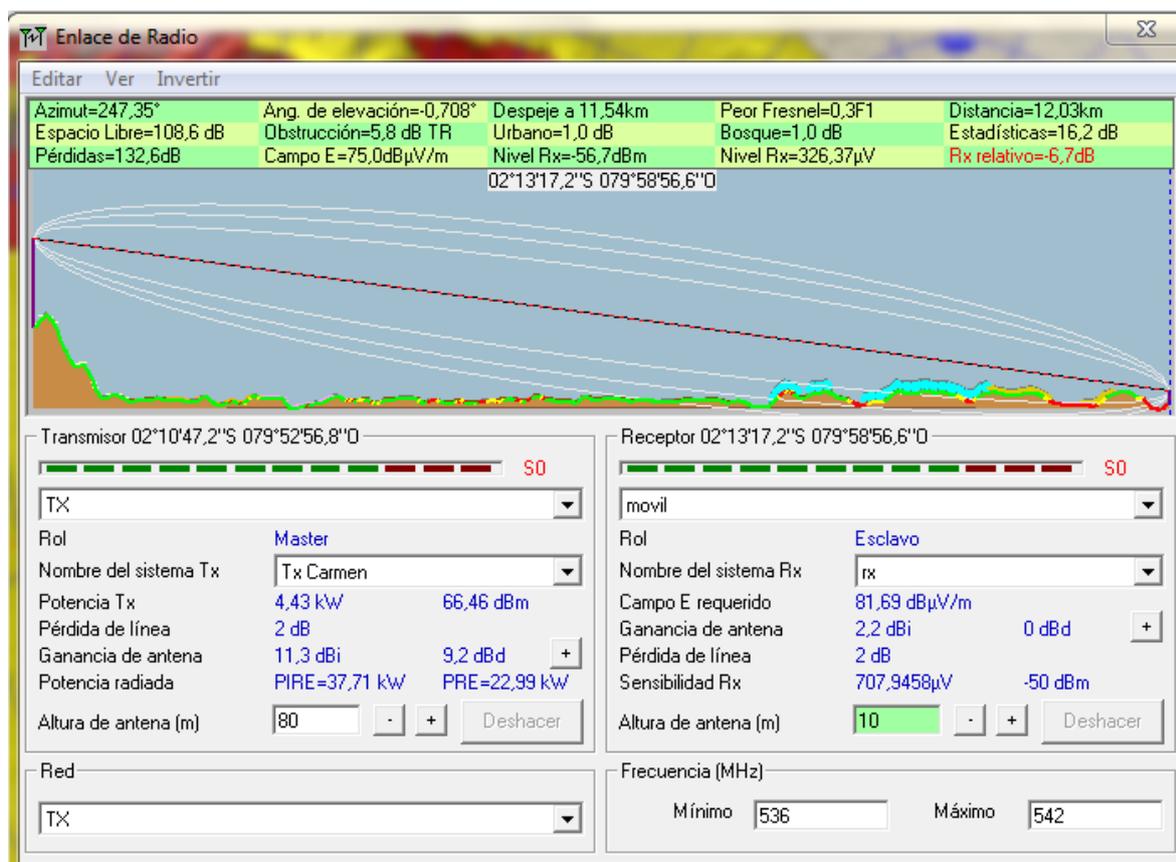
Pérdida de línea: 2 dB

Sensibilidad Rx: 707,9458μV / -50 dBm

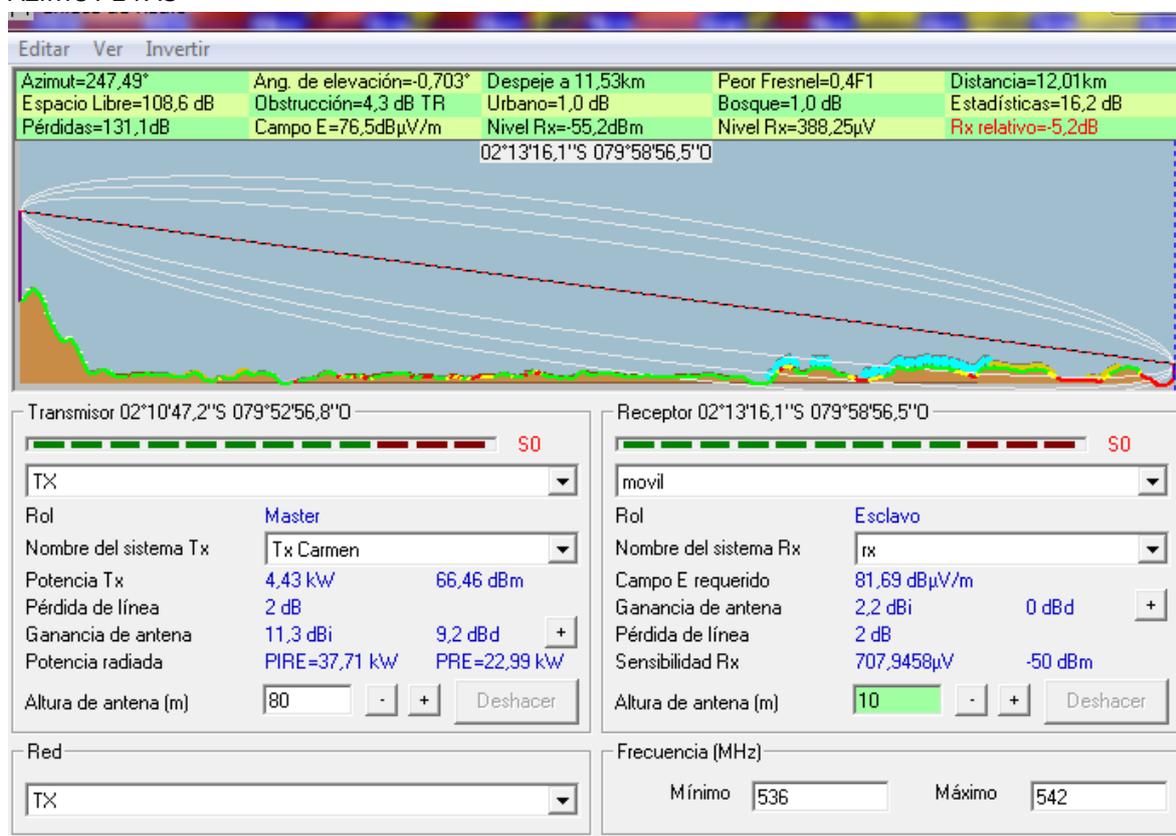
Altura de antena (m): 10

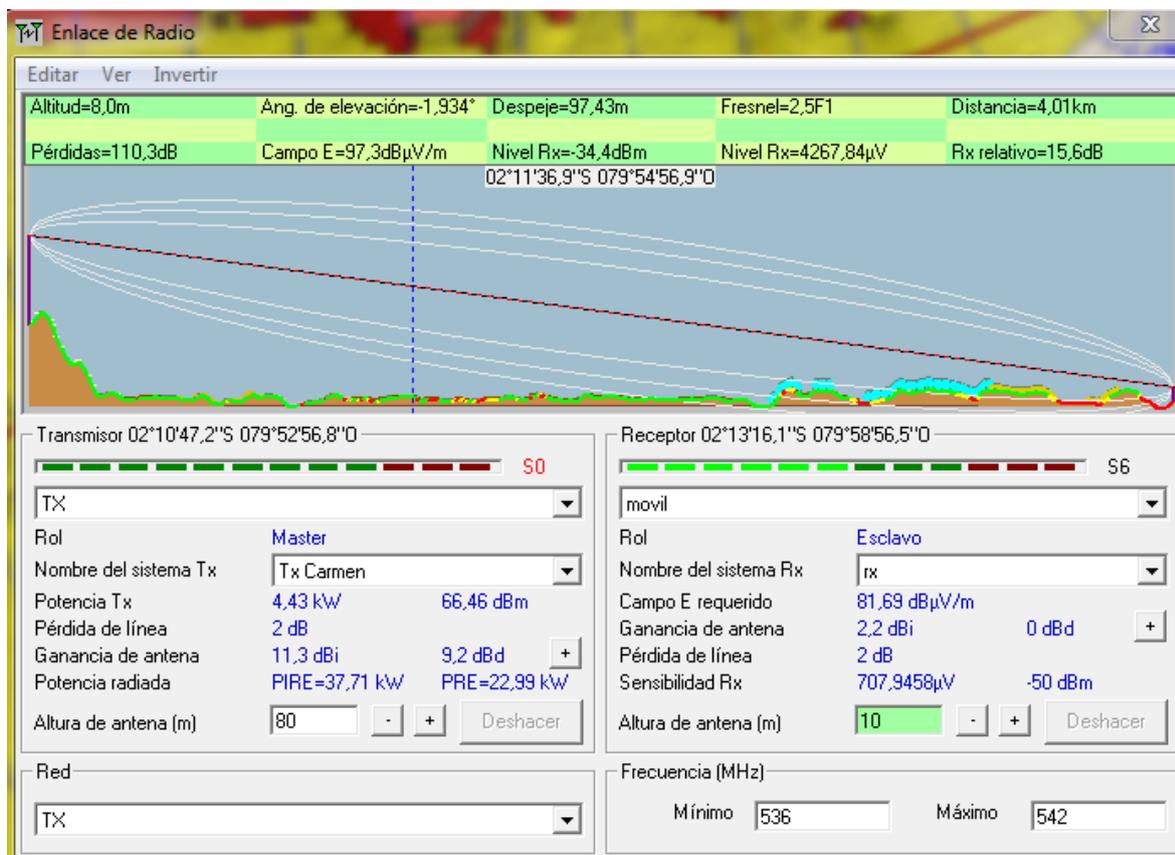
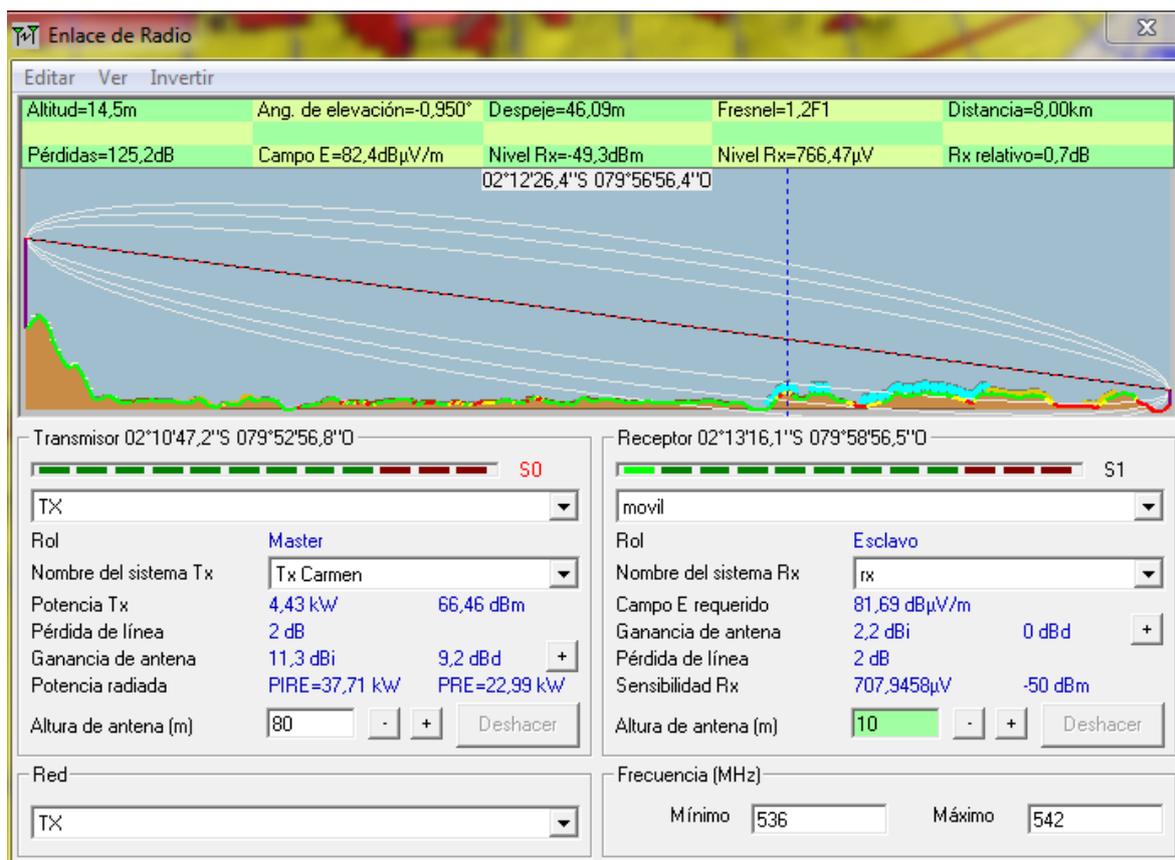
Red: TX

Frecuencia (MHz): Mínimo 536 Máximo 542



AZIMUT 247.5°





AZIMUT 225°

Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

Azimut=224,94°	Ang. de elevación=-0,733°	Despeje a 11,44km	Peor Fresnel=0,4F1	Distancia=11,99km
Espacio Libre=108,6 dB	Obstrucción=5,2 dB TR	Urbano=1,0 dB	Bosque=1,0 dB	Estadísticas=16,1 dB
Pérdidas=131,9dB	Campo E=75,7dBμV/m	Nivel Rx=-56,0dBm	Nivel Rx=356,50μV	Rx relativo=-6,0dB

02°15'22,1"S 079°57'31,4"O

Transmisor 02°10'47,2"S 079°52'56,8"O

TX S0

Rol: Master

Nombre del sistema Tx: Tx Carmen

Potencia Tx: 4,43 kW / 66,46 dBm

Pérdida de línea: 2 dB

Ganancia de antena: 11,3 dBi / 9,2 dBd

Potencia radiada: PIRE=37,71 kW / PRE=22,99 kW

Altura de antena (m): 80

Red: TX

Receptor 02°15'22,1"S 079°57'31,4"O

movil S0

Rol: Esclavo

Nombre del sistema Rx: rx

Campo E requerido: 81,69 dBμV/m

Ganancia de antena: 2,2 dBi / 0 dBd

Pérdida de línea: 2 dB

Sensibilidad Rx: 707,9458μV / -50 dBm

Altura de antena (m): 10

Frecuencia (MHz): Mínimo 536 / Máximo 542

Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

Altitud=5,3m	Ang. de elevación=-1,016°	Despeje=51,67m	Fresnel=1,3F1	Distancia=8,00km
Pérdidas=116,1dB	Campo E=91,5dBμV/m	Nivel Rx=-40,2dBm	Nivel Rx=2188,13μV	Rx relativo=9,8dB

02°13'50,6"S 079°56'00,0"O

Transmisor 02°10'47,2"S 079°52'56,8"O

TX S0

Rol: Master

Nombre del sistema Tx: Tx Carmen

Potencia Tx: 4,43 kW / 66,46 dBm

Pérdida de línea: 2 dB

Ganancia de antena: 11,3 dBi / 9,2 dBd

Potencia radiada: PIRE=37,71 kW / PRE=22,99 kW

Altura de antena (m): 80

Red: TX

Receptor 02°15'22,1"S 079°57'31,4"O

movil S4

Rol: Esclavo

Nombre del sistema Rx: rx

Campo E requerido: 81,69 dBμV/m

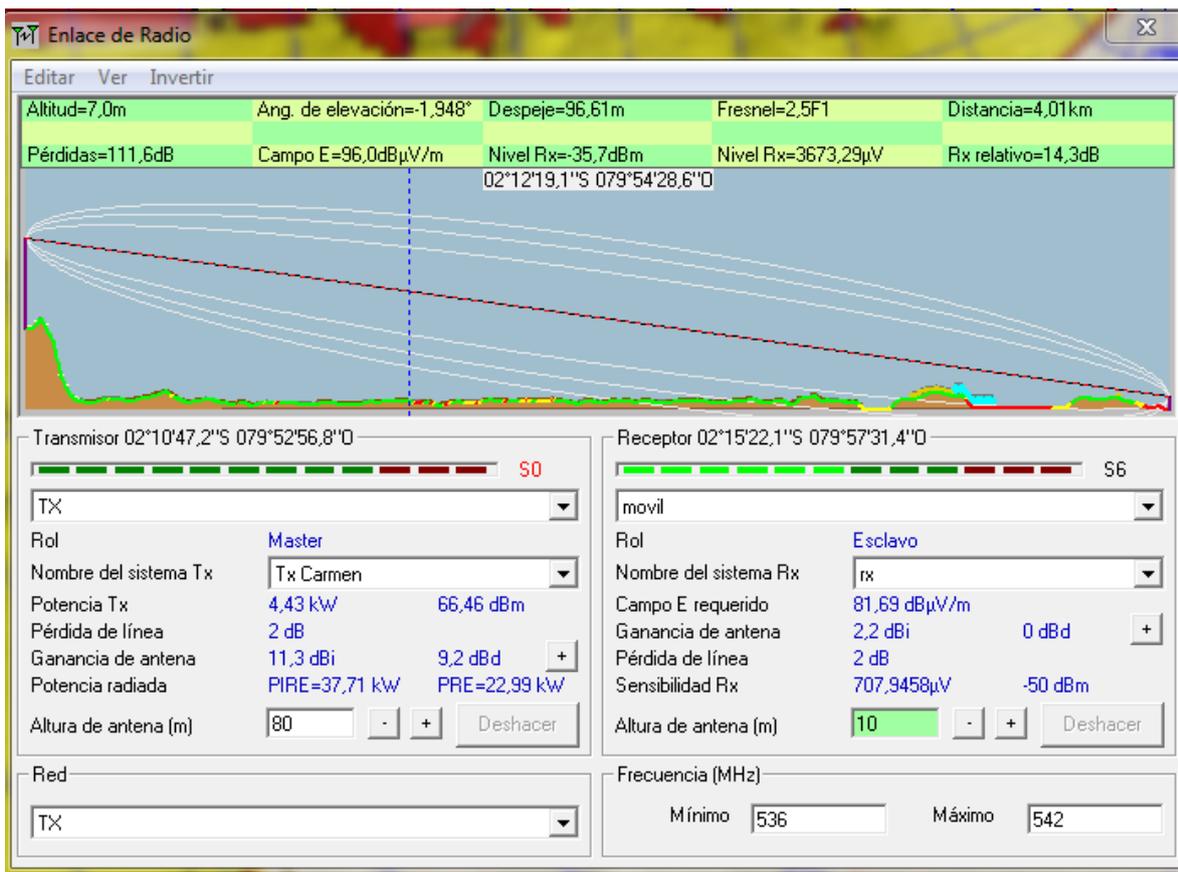
Ganancia de antena: 2,2 dBi / 0 dBd

Pérdida de línea: 2 dB

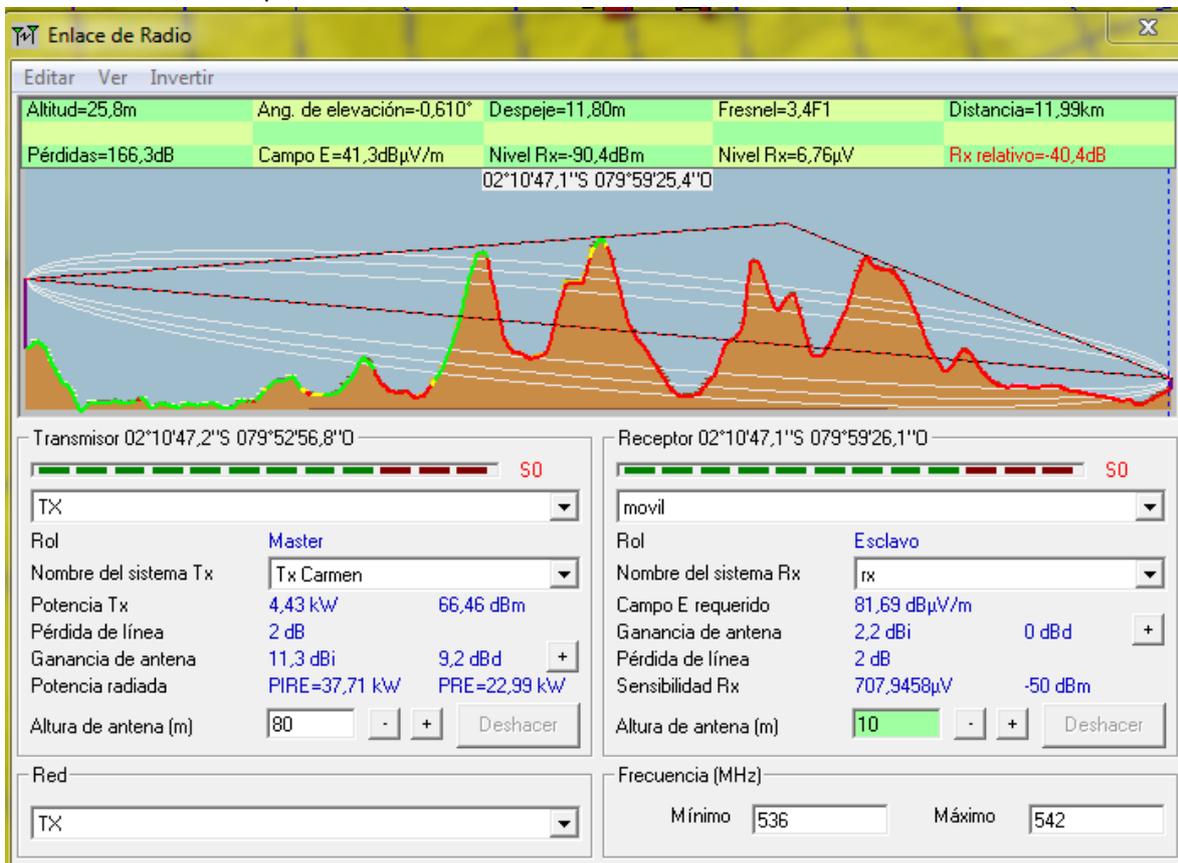
Sensibilidad Rx: 707,9458μV / -50 dBm

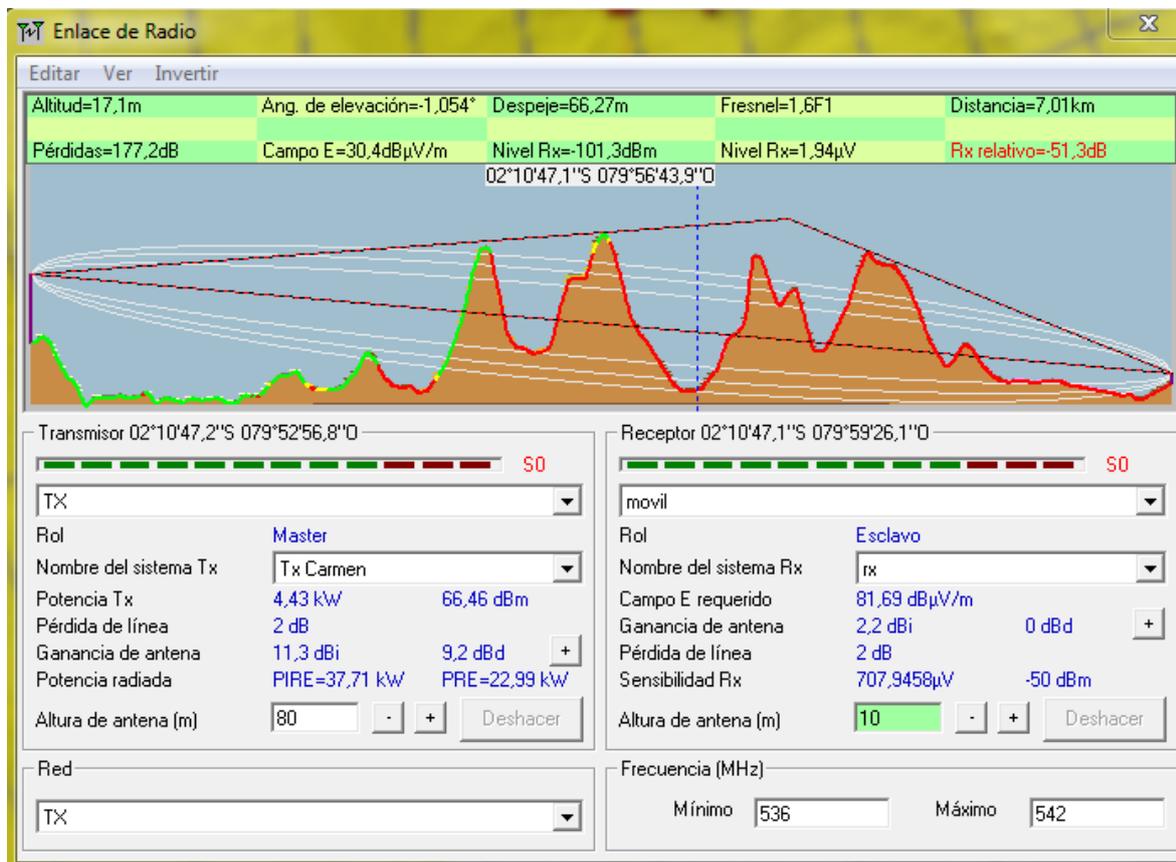
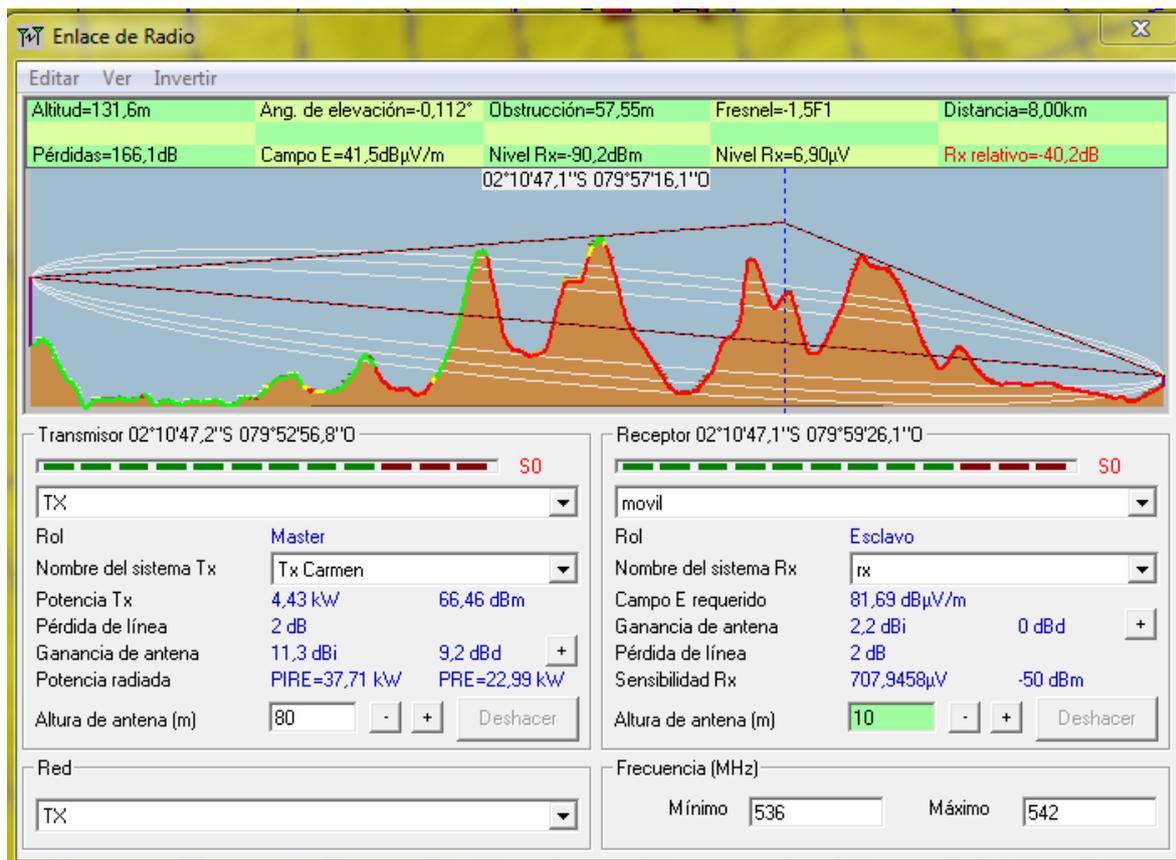
Altura de antena (m): 10

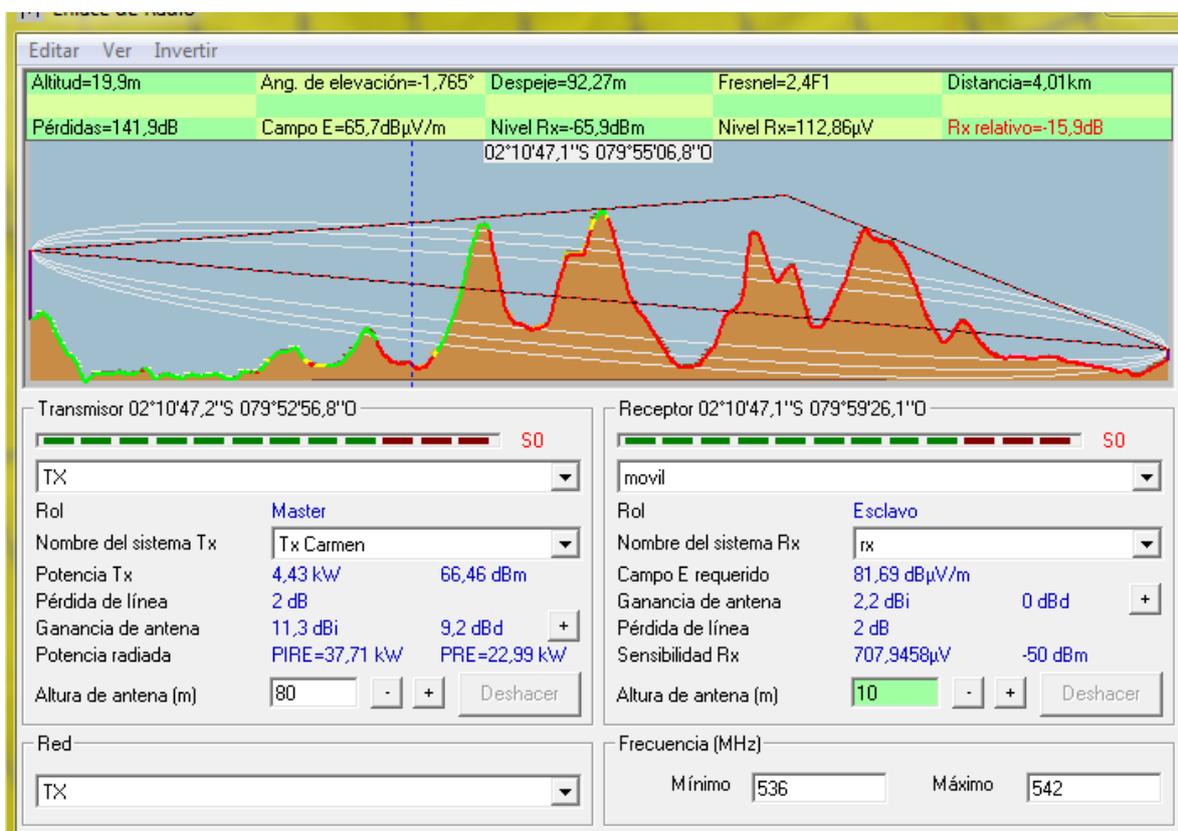
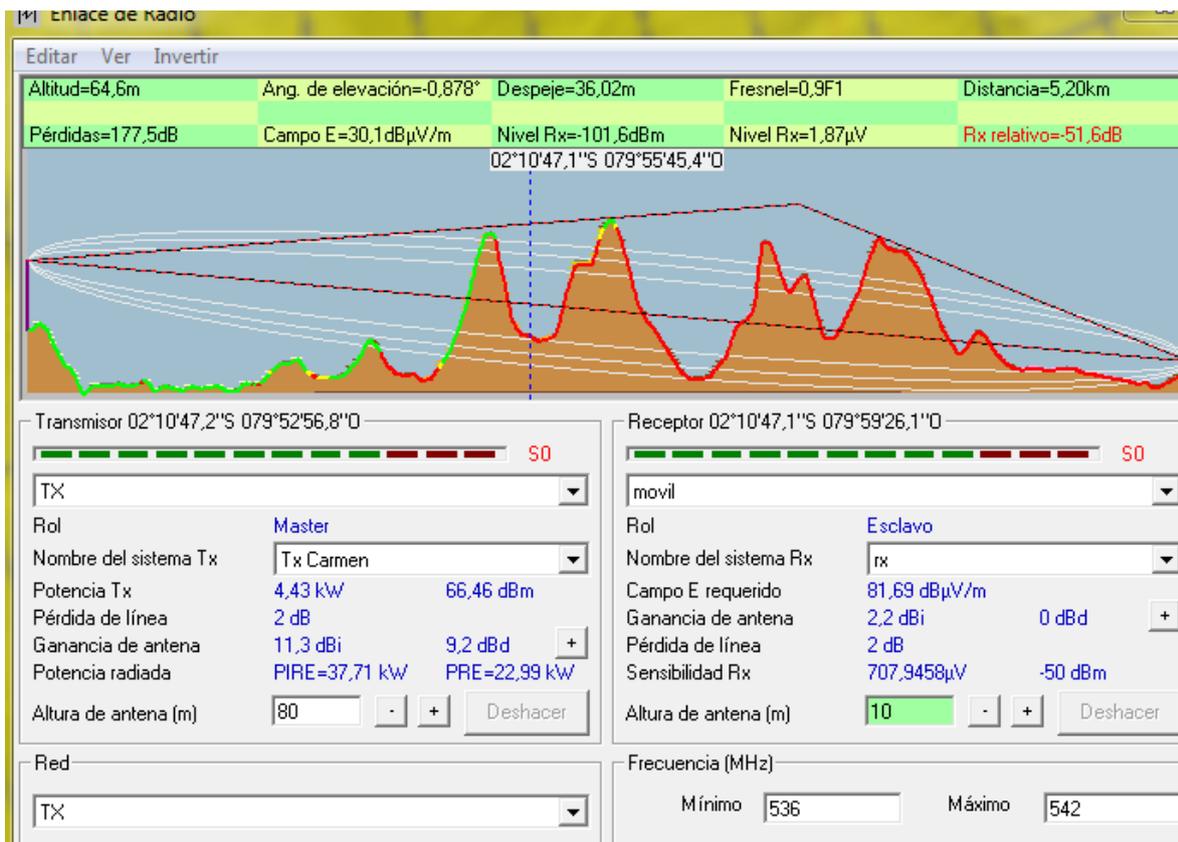
Frecuencia (MHz): Mínimo 536 / Máximo 542



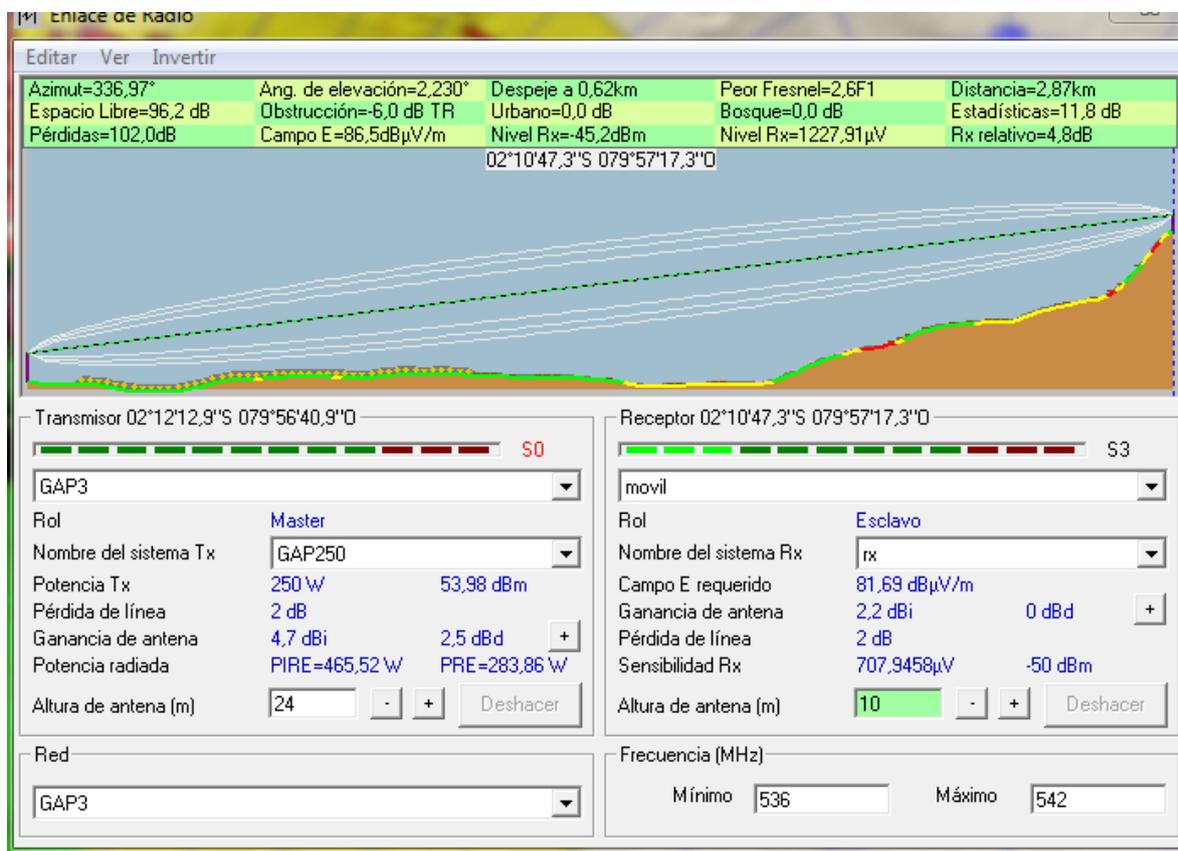
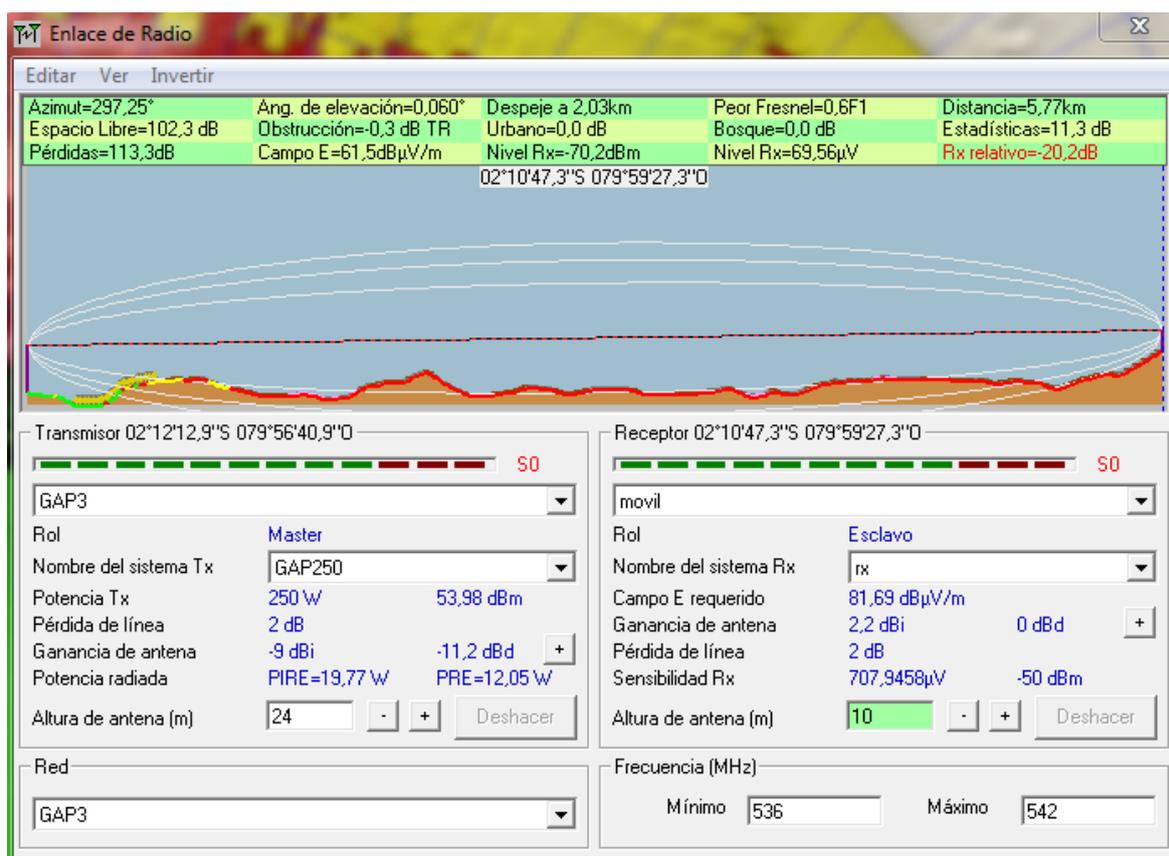
AZIMUT 270° con respecto al Cerro del Carmen







REFERENCIA GAP3 ENCENDIDO



Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

Azimut=36,48°	Ang. de elevación=1,488°	Despeje a 2,93km	Peor Fresnel=0,3F1	Distancia=3,26km
Espacio Libre=97,3 dB	Obstrucción=3,0 dB TR	Urbano=0,0 dB	Bosque=1,0 dB	Estadísticas=11,8 dB
Pérdidas=113,1dB	Campo E=69,2dBμV/m	Nivel Rx=-62,5dBm	Nivel Rx=168,16μV	Rx relativo=-12,5dB

02°10'48,0"S 079°55'38,1"O

Transmisor 02°12'12,9"S 079°56'40,9"O

Receptor 02°10'48,0"S 079°55'38,1"O

Red: GAP3	Frecuencia (MHz): Mínimo 536, Máximo 542
-----------	--

GAP3 Rol: Master Nombre del sistema Tx: GAP250 Potencia Tx: 250 W (53,98 dBm) Pérdida de línea: 2 dB Ganancia de antena: -1,6 dBi (-3,7 dBd) Potencia radiada: PIRE=110,14 W (PRE=67,16 W) Altura de antena (m): 24	movil Rol: Esclavo Nombre del sistema Rx: rx Campo E requerido: 81,69 dBμV/m Ganancia de antena: 2,2 dBi (0 dBd) Pérdida de línea: 2 dB Sensibilidad Rx: 707,9458μV (-50 dBm) Altura de antena (m): 10
--	---

Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

Altitud=14,3m	Ang. de elevación=-0,125°	Despeje=10,83m	Fresnel=1,6F1	Distancia=3,52km
Pérdidas=121,3dB	Campo E=55,9dBμV/m	Nivel Rx=-75,8dBm	Nivel Rx=36,32μV	Rx relativo=-25,8dB

02°10'59,8"S 079°55'13,3"O

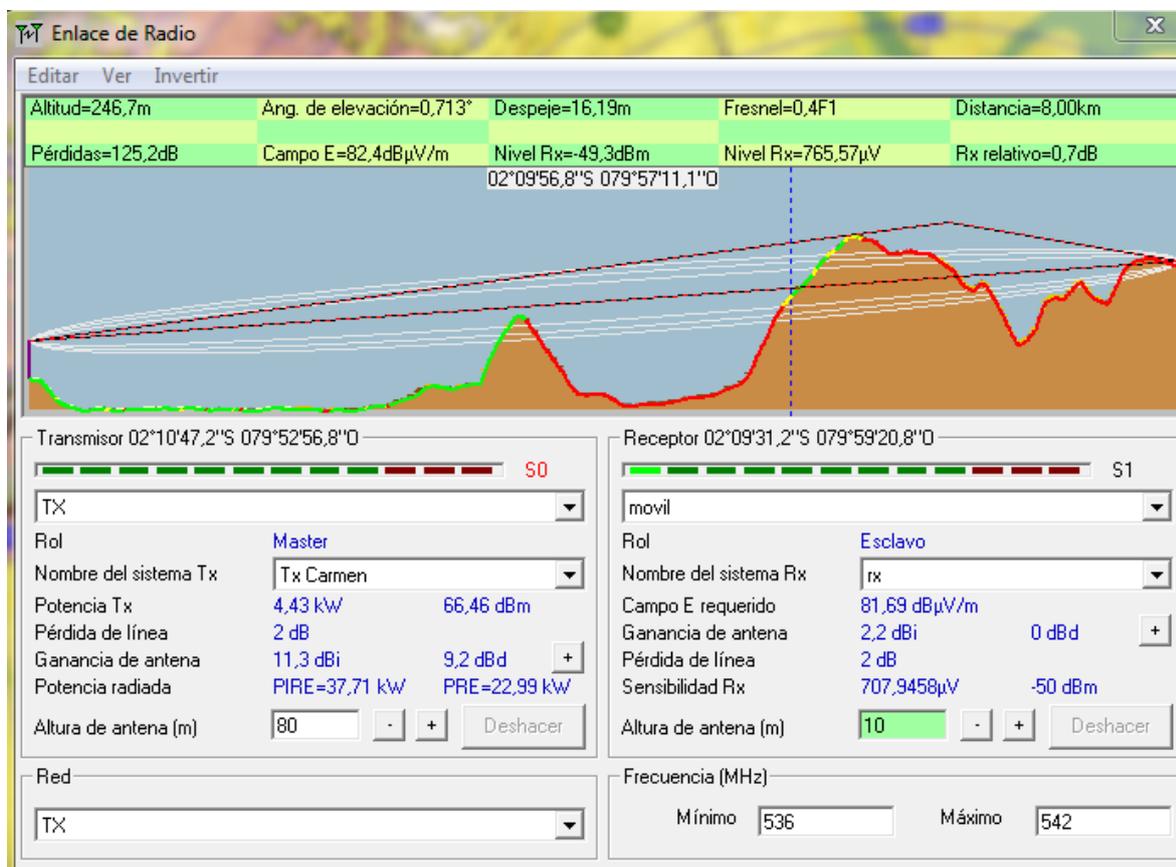
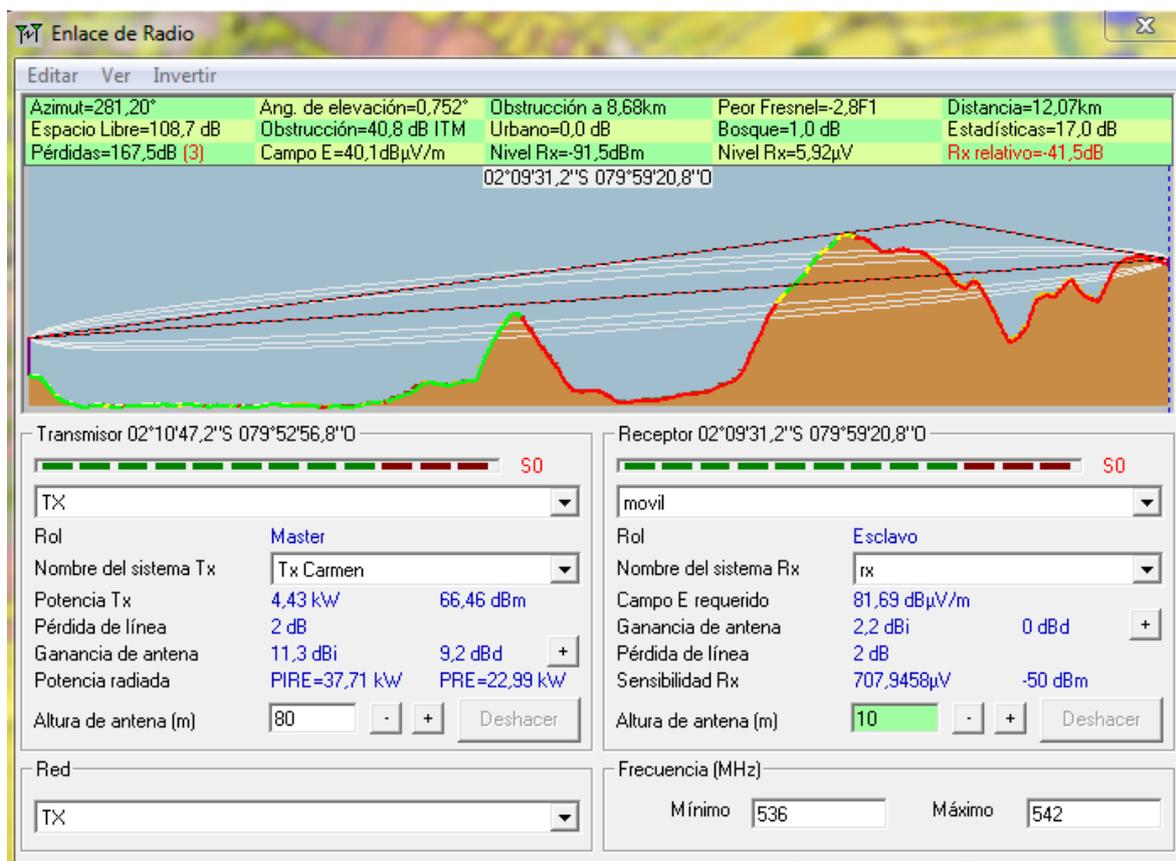
Transmisor 02°12'12,9"S 079°56'40,9"O

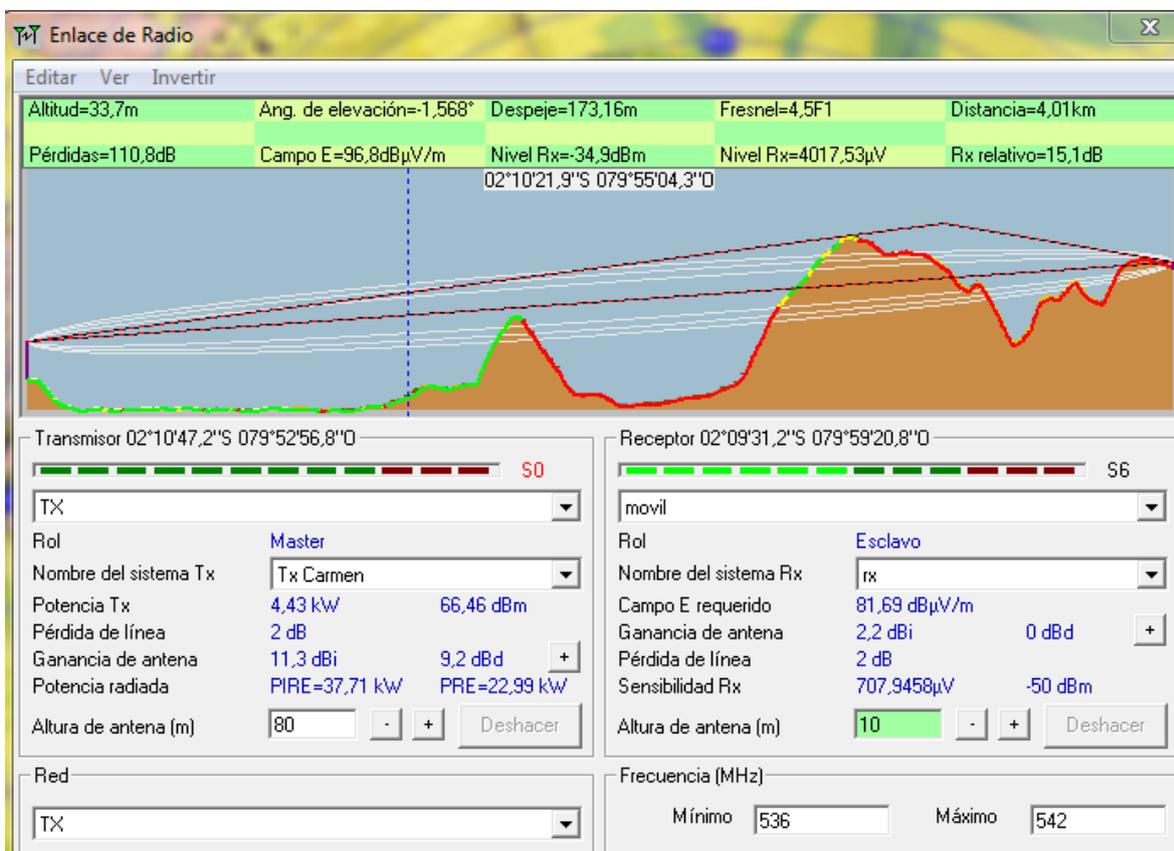
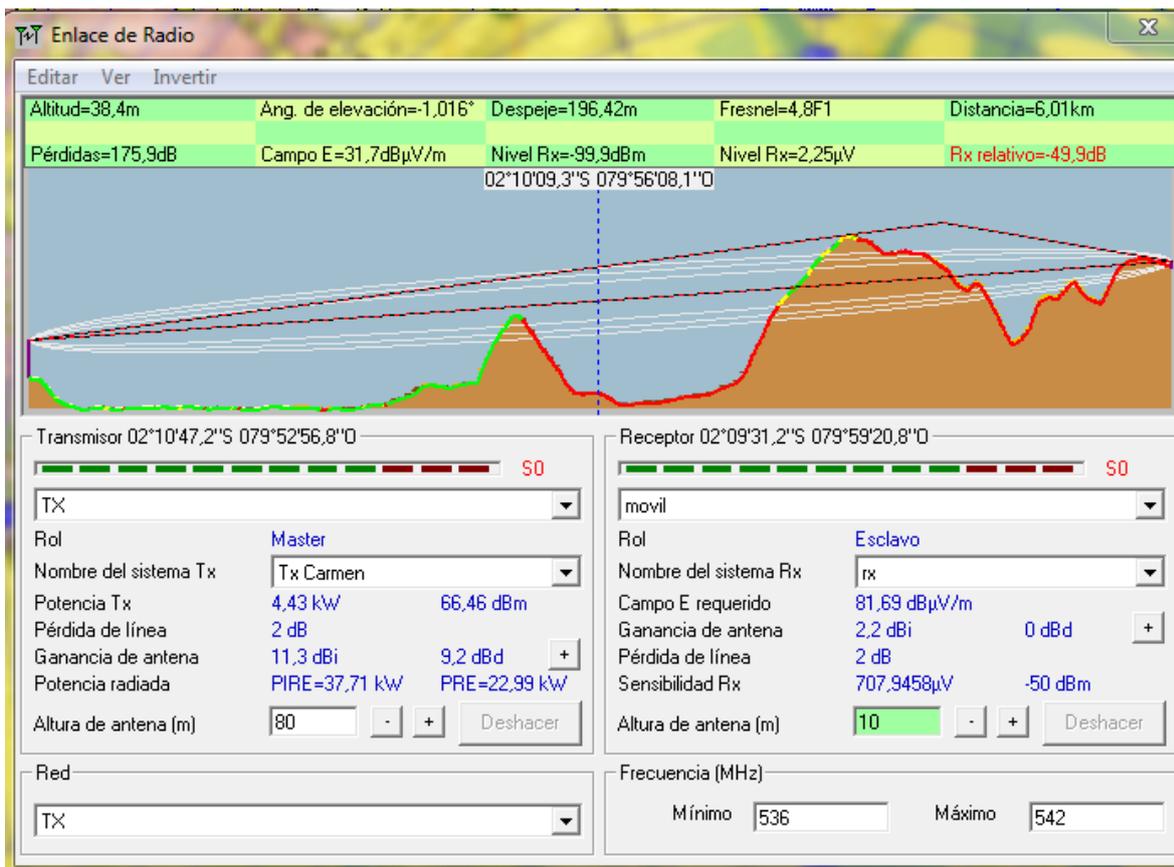
Receptor 02°10'58,0"S 079°55'11,1"O

Red: GAP3	Frecuencia (MHz): Mínimo 536, Máximo 542
-----------	--

GAP3 Rol: Master Nombre del sistema Tx: GAP250 Potencia Tx: 250 W (53,98 dBm) Pérdida de línea: 2 dB Ganancia de antena: -6,6 dBi (-8,8 dBd) Potencia radiada: PIRE=34,51 W (PRE=21,04 W) Altura de antena (m): 24	movil Rol: Esclavo Nombre del sistema Rx: rx Campo E requerido: 81,69 dBμV/m Ganancia de antena: 2,2 dBi (0 dBd) Pérdida de línea: 2 dB Sensibilidad Rx: 707,9458μV (-50 dBm) Altura de antena (m): 10
---	---

Tx en Cerro Del Carmen





AZIMUT 292.54°

