

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
COEXISTENCIA DE ISDB-TB DE ECUADOR Y DVB-T2 DE COLOMBIA
EN LA CIUDAD DE TULCÁN**

**AUTOR:
CRISTIAN PATRICIO ZAMBRANO SHILQUIGUA**

**TUTOR:
LUIS GERMÁN OÑATE CADENA**

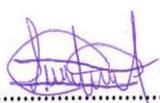
Quito, febrero del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Cristian Patricio Zambrano Shilquigua, con documento de identificación N° 172084531-0, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “COEXISTENCIA DE ISDB-TB DE ECUADOR Y DVB-T2 DE COLOMBIA EN LA CIUDAD DE TULCÁN”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, febrero de 2020



Cristian Patricio Zambrano Shilquigua

C.I.: 172084531-0

DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “COEXISTENCIA DE ISDB-TB DE ECUADOR Y DVB-T2 DE COLOMBIA EN LA CIUDAD DE TULCÁN” realizado por Cristian Patricio Zambrano Shilquigua, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero de 2020



.....
Luis Germán Oñate Cadena

C.I.: 171215740-1

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación va dedicado en primer lugar a Dios quien ha sido el impulso para lograr llegar a una más de mis metas propuestas en mi vida de aprendizaje, a mis padres y en general a toda mi familia quienes han sido mi más grande apoyo en esta larga carrera, a mis profesores quienes día a día han logrado formar un gran profesional y sobre todo una gran persona, a todas mis amistades y a aquellas personas que de forma directa o indirecta han estado ahí brindándome su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y a todo el personal quién hizo de este largo proceso de la carrera, un éxito.

Mis más sinceros agradecimientos a mis padres por todo su apoyo durante el transcurso de mi carrera, por haber estado en los buenos y mucho más en los malos momentos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
ANTECEDENTES	2
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general.	3
1.3.2 Objetivos específicos.	3
1.4 Metodología	3
1.4.1 Identificación.....	3
1.4.2 Diseño.	4
1.4.3 Implementación.	4
1.4.4 Resultados.	4
CAPÍTULO 2	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Televisión Digital (TDT)	5
2.2 Estándares de TDT	6
2.2.1 Sistema Japonés ISDB-Tb.....	6
2.2.2 Sistema Europeo DVB-T2.....	7
2.3 Modelos de propagación	7
2.3.1 Recomendación UIT-R P.1546	7
2.4 Interferencia	9
2.4.1 Interferencia co-canal.....	9
2.3.2 Interferencia de canal adyacente	9
2.5 Norma Técnica de Televisión Digital Terrestre Ecuador.....	9
2.6 Norma Técnica de Televisión Digital Terrestre Colombia	10

CAPÍTULO 3	11
SIMULACIÓN DEL ENLACE DE COBERTURA ENTRE LOS ESTÁNDARES DE DE TDT DE ECUADOR (ISDB-Tb) Y COLOMBIA (DVB-T2).....	11
3.1 Escenario de simulación ISDB-Tb.....	11
3.1.1 Ubicación del sistema radiante de cobertura ISDB-Tb.....	12
3.1.2 Recomendación ITU-R P.1546-5.....	14
3.1.3 Ingreso de parámetros del enlace de cobertura ISDB-Tb en el software ICS Telecom.....	15
3.2 Escenario de simulación DVB-T2.....	18
3.2.1 Ubicación del transmisor de cobertura DVB-T2.....	19
3.2.2 Recomendación ITU-R P.1546-5.....	20
3.2.3 Ingreso de parámetros del enlace de cobertura DVB-T2 en el software ICS Telecom.....	22
CAPÍTULO 4	23
PRUEBAS Y RESULTADOS	25
4.1 Pruebas del enlace de cobertura del estándar ISDB-Tb con la recomendación ITU-R P.1546-5.....	25
4.2 Pruebas del enlace de cobertura del estándar DVB-T2 con la recomendación ITU-R P.1546-5.....	26
4.3 Pruebas del enlace de cobertura del estándar ISDB-Tb y DVB-T2 con la recomendación ITU-R P.1546-5.....	27
CAPÍTULO 5	32
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
5.1 Conclusiones.....	32
5.2 Recomendaciones.....	32
BIBLIOGRAFÍA	33
ANEXOS	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Figura 2.1. Sistemas TDT.....	5
Figura 2.2	Curva 600 Mhz trayecto terrestre.....	8
Figura 3.1	Diagrama del sistema de transmisión UHF.....	11
Figura 3.2	Ubicación geográfica Cerro Troya Bajo provincia del Carchi.....	12
Figura 3.3	Ubicación de la antena del sistema ISDB-Tb.....	13
Figura 3.4	Perfil de elevación desde el Cerro Troya Bajo.....	14
Figura 3.5	Ubicación de la antena ISDB-Tb.....	16
Figura 3.6	Parámetros del transmisor ISDB-Tb	16
Figura 3.7	Patrones de radiación antena RYMSA..	17
Figura 3.8	Intensidad de campo mínima a cubrir	18
Figura 3.9	Ubicación geográfica Estación Galeras, Pasto-Colombia.....	18
Figura 3.10	Ubicación de la antena del sistema DVB-T2.....	20
Figura 3.11	Perfil de elevación desde Estación Galeras.....	21
Figura 3.12	Ubicación de la antena DVB-T2.....	22
Figura 3.13	Parámetros del transmisor DVB-T2.....	23
Figura 3.14	Patrones de radiación antena SIRA.....	23
Figura 3.15	Intensidad de campo mínima a cubrir	24
Figura 4.1	Enlace de cobertura ISDB-Tb, Azimut 330°.....	25
Figura 4.2	Enlace de cobertura DVB-T2, Azimut 220°.....	26
Figura 4.3	Enlace de cobertura ISDB-Tb y DVB-T2.....	28
Figura 4.4	Interferencia ISDB-Tb sobre DVB-T2	28
Figura 4.5	Resultado de interferencia y área interferida.....	29
Figura 4.6	Enlace de cobertura DVB-T2 e ISDB-T.....	30
Figura 4.7	Interferencia DVB-T2 sobre ISDB-Tb	30
Figura 4.8	Resultado de interferencia y área interferida.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1	Coordenadas geográficas Cerro Troya provincia del Carchi-Ecuador.....	11
Tabla 3. 2	Parámetros técnicos de la antena transmisora.....	13
Tabla 3. 3	Alturas del perfil de elevación a una determinada distancia	15
Tabla 3. 4	Coordenadas geográficas Estación Galeras, Pasto-Colombia	18
Tabla 3. 5	Parámetros técnicos de la antena transmisora.....	19
Tabla 3. 6	Alturas del perfil de elevación a una determinada distancia	21
Tabla 4. 1	Resultado de interferencia y área interferida	29
Tabla 4. 2	Resultado de interferencia y área interferida	31

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad analizar el grado de coexistencia que tienen los sistemas de Televisión Digital Terrestre (TDT) en la parte fronteriza entre Ecuador y Colombia, debido a que los estándares de TDT entre ellos no son los mismos, ISDB-Tb y DVB-T2 respectivamente. Previo al análisis de coexistencia de dichas tecnologías o estándares de televisión digital se hace un estudio de las principales características de los mismos, además el estudio de ambos escenarios, condiciones geográficas, parámetros generales de ambos sistemas TDT, para escoger el modelo apropiado de propagación específicamente para estas zonas fronterizas, como es el caso del presente proyecto, y poderlos implementar virtualmente. Para ello se utilizan simulaciones donde se estudia el proceso de propagación de las señales digitales, principalmente la cobertura que tienen los transmisores TDT con el respectivo estándar, realizando mediciones en las ubicaciones geográficas dadas en la frontera entre estos países. Las mediciones obtenidas ayudan a estimar un umbral de interferencia y así poder proponer un modelo de propagación óptimo que se ajuste a las condiciones geográficas y climáticas en las zonas de transmisión TDT de Ecuador y Colombia, con el fin de incrementar el nivel de coexistencia sin que exista problemas significativos de interferencia entre ellos.

ABSTRACT

The purpose of this project is to analyze the degree of coexistence of the Digital Terrestrial Television (DTT) systems in the border area between Ecuador and Colombia, because of the DTT standards between them are not the same, ISDB-Tb and DVB -T2 respectively. Prior to the analysis of the coexistence of these digital television technologies or standards, a study is made of their main characteristics, as well as the study of both scenarios, geographical conditions, to choose the appropriate propagation model specifically for these border areas, such as the case of the present project, and be able to implement them virtually. To do this, simulations are used to study the propagation process of digital signals, mainly the coverage that DTT transmitters have with the respective standard, making measurements at the geographic locations given at the border between these countries. The measurements obtained help to estimate an interference threshold and thus be able to propose an optimal propagation model that fits the geographic and climatic conditions in the DTT transmission zones of Ecuador and Colombia, in order to increase the level of coexistence without there are significant interference problems between them.

INTRODUCCIÓN

La llegada de tecnologías TDT ha sido una ventaja a la hora de transmitir televisión frente a la televisión analógica, debido a la disminución del número de frecuencias y al mejor manejo del espectro radioeléctrico. Existen dos tecnologías que están dominando alrededor del mundo y son precisamente las que se analiza, ISDB-Tb (Ecuador) y DVB-T2 (Colombia) que deberán convivir durante el periodo de transición analógico-digital. Por lo que es importante estudiar el comportamiento de estas tecnologías frente a interferencias. (Bayardo, Estudio y Análisis del Apagón Analógico, 2017)

En el capítulo uno se describe el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, justificación del problema y la metodología para para realizar el análisis de coexistencia entre los estándares de TDT.

En el capítulo dos se detalla las características más importantes de ambos estándares de TDT, además del estudio del modelo de propagación a ser utilizado en la simulación del proyecto.

En el capítulo tres se describe los escenarios, se proporciona las coordenadas geográficas donde se ubican los respectivos transmisores de televisión digital, tanto ISDB-Tb de Ecuador, como DVB-T2 de Colombia y se procede a realizar la simulación del enlace de cobertura en la zona fronteriza entre estos dos países.

En el capítulo cuatro se presenta las pruebas y los resultados del enlace de cobertura de ambos transmisores TDT, obtenido de las simulaciones. Se realiza enlaces de cobertura por sistema TDT y luego conjuntamente para observar el grado de interferencia entre estos sistemas de televisión digital.

En el capítulo cinco se describe las conclusiones y recomendaciones obtenidas del sistema TDT.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En este capítulo se describe el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos generales y específicos, y se detallará la metodología a ser utilizada para la ejecución del proyecto.

1.1 Planteamiento del Problema

La tecnología TDT está prevaleciendo en el ámbito de televisión a nivel mundial y se prevé un cambio total de la TV analógica a la TV digital, debido a su robustez, definición y demás parámetros que hacen de esta tecnología la mejor, sin embargo, se debe tener en cuenta la existencia de estándares para el uso de TDT. El proyecto se basa específicamente a dos estándares ISDB-Tb de Ecuador y DVB-T2 de Colombia para hacer un análisis comparativo y coexistente entre ellos. (Bayardo, Estudio y Análisis del Apagón Analógico, 2017)

Una de las principales razones del por qué se realiza este estudio es, debido a que el estándar ISDB-Tb predomina en la región, mientras que en Colombia es usado el estándar europeo DVB-T2, es por ello que es necesario realizar mediciones para observar el comportamiento de cada uno de ellos y la convivencia entre ellos, para determinar los factores que los lleve a tener un grado de coexistencia e interferencia en la ciudad de Tulcán, con el apoyo de simulaciones de laboratorio y de esta manera plantear posibles soluciones que ayuden a reducir dichos factores. (Plan Técnico de Televisión, 2014)

1.2 Justificación

Considerando la migración de televisión analógica a digital con el denominado apagón analógico se hace un estudio de interés de las dos naciones con sus respectivos estándares adoptados para TDT (ISDB-Tb – DVB-T2), con el propósito de conocer y analizar el grado de interferencia existente en la ciudad de Tulcán, así como la convivencia de dichos estándares en esta zona, con el apoyo de un software de simulación para determinar los parámetros involucrados y de esta manera poder brindar posibles soluciones.

Conociendo que en otros lugares del mundo existe un análisis de TDT con diferente estándar, el presente proyecto tiene como objetivo realizar el respectivo análisis local ecuatoriano con su país vecino colombiano, debido a su no compartimiento de estándares de redes TDT.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

- Determinar el grado de interferencia de las señales de televisión de alta definición (HDTV) en la ciudad de Tulcán para conocer el grado de coexistencia entre los estándares ISDB-Tb y DVB-T2.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Analizar los sistemas de televisión digital utilizados en Ecuador y Colombia para conocer sus diferencias y similitudes, así como los parámetros en que puede existir interferencia.
- Determinar los parámetros necesarios para conocer la coexistencia del sistema ISDB-Tb y DVB-T2 en la ciudad de Tulcán.
- Simular los sistemas ISDB-Tb y DVB-T2 en la ciudad de Tulcán para conocer su grado de interferencia.
- Comparar los parámetros simulados de los estándares ISDB-Tb y DVB-T2 para determinar una posible reducción de interferencia entre ellos.

1.4 Metodología

El método a ser utilizado es el método comparativo-experimental, ya que se analizará los estándares de televisión digital de Ecuador y Colombia para determinar la coexistencia entre ellos. A continuación, se detalla el proceso en que se desarrollará el presente proyecto técnico:

1.4.1 Identificación

En este primer punto se realizará el análisis completo de los subtemas a tratar en el proyecto:

- Estándar ISDB-T; ISDB-Tb
- Estándar DVB-T; DVB-T2

1.4.2 Diseño

En este punto se realizará el estudio mediante software para realizar:

- Esquema de simulación
- Materiales a utilizar (software, hardware)
- Presupuesto

1.4.3 Implementación

En este punto se realizará la ejecución de la simulación del enlace TDT, así como ajustes que sean necesarios para controlar los parámetros solicitados.

1.4.4 Resultados

En este último punto se realizará:

- Mediciones
- Análisis comparativo
- Análisis coexistente
- Conclusiones
- Posibles soluciones

CAPÍTULO 2

MARCO TEORICO

En este capítulo se detalla el concepto de televisión digital terrestre (TDT), los estándares manejados en Ecuador (ISDB-Tb) y Colombia (DVB-T2) con sus respectivas características y principales modelos de propagación, para posteriormente poder realizar el respectivo análisis entre ellos.

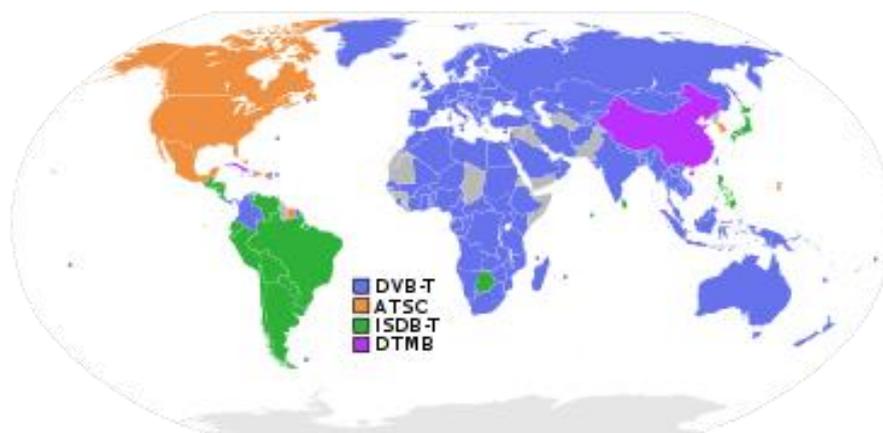
2.1 Televisión Digital Terrestre (TDT)

El sonido y la calidad de imagen en la TDT son formatos convertidos que se transmiten por medio de ondas electromagnéticas, llevando información digital que brinda calidad, optimización y movilidad del espectro electromagnético.

Entre las ventajas sobre la aún usada televisión analógica, se tiene que la TDT brinda a los usuarios una transmisión con alta calidad de audio y video, además que también incorpora información para datos que recibe el equipo terminal. El aprovechamiento del espectro radioeléctrico es otra de sus ventajas ya que a diferencia de la televisión analógica que transmite un solo programa por un canal UHF a 6 MHz, la Televisión Digital es capaz de transmitir por los mismos 6 MHz de cuatro a cinco programas lo que claramente se puede observar un incremento audiovisual importante. (Milan, 2010)

En la Figura 2.1, se puede observar la expansión de los sistemas o estándares de televisión digital alrededor del mundo.

Figura 2.1. Sistemas TDT



Estándares de TDT en el mundo, (Ribadeneira Ramirez, 2012)

Existen diferentes tecnologías denominadas estándares, en las cuales se fundamenta la Televisión Digital Terrestre entre ellos están el DVB-T, ISDB-T, ATSC y DTMB. En este documento se hará énfasis en DVB-T2 e ISDB-Tb que son los estándares mejorados de DVB-T e ISDB-T adoptados por Colombia y Ecuador respectivamente.

2.2 Estándares de TDT

2.2.1 Sistema Japonés ISDB-Tb

El sistema ISDB-Tb fue mejorado del sistema ISDB-T japonés, con los mismos principios, pero con un mejoramiento como la codificación de video que utiliza H.264 en lugar de MPEG-2 que utiliza el sistema ISDB-T.

Una de las modificaciones de la norma japonesa en la brasileña es por el uso del códec MPEG-4 (H.264) para compresión de vídeo estándar en lugar de MPEG2 como en ISDB-T.

- H.264/AVC HP@L4.0 Servicio Fijo.
- H.264/AVC BP@L3.0 Servicio Móvil.

La compresión de audio con HE-AAC.

- MPEG-4/AAC@L.4 Servicio Fijo.
- H.264/AVC @L.3 Servicio Móvil.

La modulación en (BST-OFDM-TI), presentación de 30 cuadros por segundo incluso en dispositivos portátiles, a diferencia de los 15 cuadros por segundo para equipos móviles en la norma ISDB-T. Para la interacción se utiliza el middleware de soporte de aplicaciones desarrollado en Brasil y denominado Ginga, compuesto por los módulos GingaNCL, usado para exhibir documentos en lenguaje NCL (Nested Context Language) y Ginga-J para aplicaciones escritas en lenguaje Java. En el caso de la norma original ISDB-T, este software es el Broadcast Markup Language (BML). (Omar, 2015)

El estándar mejorado ISDB-Tb fue adoptado en algunos países de Asia y en muchos de Centro y Suramérica, países como Perú, Argentina y Ecuador. (Chie, Zambrano, & Medina, 2015)

2.2.2 Sistema Europeo DVB-T2

El estándar DVB-T europeo hizo una mejora en sus características para dar a conocer un nuevo estándar mejorado llamado DVB-T2. Este sistema creado bajo los mismos principios presenta como mejoría el alcance de transmisión mayores, así como aumentar su área de cobertura. DVB-T2 utiliza QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, con 2, 4, 6, y 8 bits por símbolo.

Otra de las mejoras de este sistema es el tamaño de FFT (Transformada rápida de Fourier), ya que permite que las redes SFN mejoren su rendimiento (16k o 32k) y también mejora el rendimiento en movilidad (1k o 4k). Además, gracias a la FFT de 16k y 32k permite reducir interferencias de canal adyacente con su rápida caída del espectro fuera de banda. (Ribadeneira Ramirez, 2012)

En DVB-T2 influirá el ancho de banda para proteger el problema de interferencia entre portadoras (ICI), se entiende que al ser el número de portadoras fijo para cada tamaño de FFT y los diferentes anchos de banda, la utilización de un ancho de banda mayor o menor influirá directamente sobre el espaciado entre las portadoras OFDM, es decir, que el problema ICI será menor siempre y cuando mayor sea el espaciado entre portadoras en el mismo escenario de propagación, por lo que la utilización de mayores anchos de banda nos proporcionan mayor robustez en términos de ICI para un mismo tamaño de FFT. (Ribadeneira Ramirez, 2012)

2.3 Modelos de propagación

Un modelo de propagación es capaz de predecir la pérdida de trayectoria de una señal de radiofrecuencia entre la estación base y el receptor. Estos modelos son la colección de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos que simbolizan las características de las señales en relación con el ruido y las diferentes fuentes de interferencia que pueden surgir. (Jácome, Pazmiño, Gavilanes, Martínez, & Ribadeneira, 2017)

2.3.1 Recomendación UIT-R P.1546-5

Esta recomendación es un modelo empírico el cual fue desarrollado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, bajo una serie de resultados experimentales en forma de curvas para frecuencias específicas de transmisión en las bandas VHF y UHF.

De esta forma se puede determinar que esta recomendación es válida para alturas del transmisor entre 10 y 1200 metros, alturas de receptor con respecto al suelo de 10 metros y para frecuencias en el rango de 30 a 3000 Mhz. (ITU-R-1546-5, 2013)

Para el cálculo de la intensidad de campo se usa la ecuación de la recomendación. (ITU-R-1546-5, 2013)

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \left(\log \frac{h_1}{h_{inf}} \right) / \log \frac{h_{sup}}{h_{inf}} \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad \text{Ec. (2.1)}$$

donde:

$h_{inf} = 600 \text{ m}$ si $h_1 > 1200 \text{ m}$, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por debajo de h_1 .

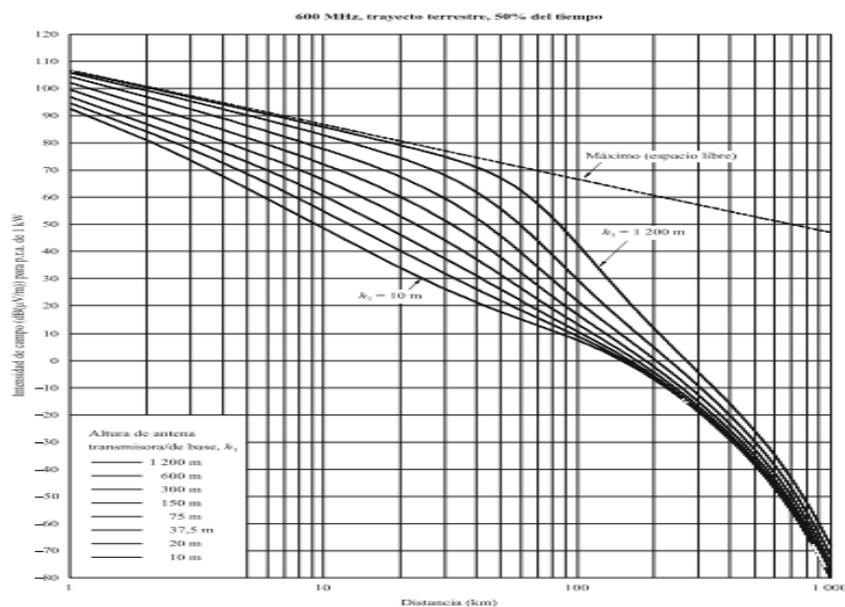
$h_{sup} = 1200 \text{ m}$ si $h_1 > 1200 \text{ m}$, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por encima de h_1 .

E_{inf} = valor de la intensidad de campo para h_{inf} a la distancia requerida.

E_{sup} = valor de la intensidad de campo para h_{sup} a la distancia requerida. (ITU-R-1546-5, 2013)

En la Figura 2.2 se aprecia la curva de la recomendación UIT-R P.1546-4 en la frecuencia de 600 Mhz, para trayectos terrestres, la cual puede ser utilizada en la gama comprendida de 300 a 1000 Mhz.

Figura 2.2. Curva 600 Mhz trayecto terrestre



Curva UIT-R P.1546-5 a 600 Mhz, (ITU-R-1546-5, 2013)

2.4 Interferencia

Siguiendo recomendación UIT-R V.573-5, la interferencia radioeléctrica está definida como, la degradación producida en la recepción de una señal útil provocada por una perturbación radioeléctrica. (V.573-5, 2007)

2.4.1 Interferencia co canal

Es causada por la presencia de señales interferentes y deseadas que operan en el mismo ancho de banda del canal en el que está operando el receptor, su nivel depende de las características de rechazo cocanal del receptor y las características de emisión del transmisor.

El cálculo de la interferencia cocanal, depende de los diferentes servicios, por ejemplo para servicios de radiodifusión la distancia de separación entre las estaciones cocanales debe ser mayor a 120 km en el peor de los casos mientras que en los servicios fijos la directividad de la antena es la que juega un papel importante. (Rico, 2014)

2.4.2 Interferencia de canal adyacente

Esta interferencia puede deberse a una señal interferente que opera en el canal adyacente y su nivel depende de las características de filtrado del receptor. Los efectos de interferencia de canal adyacente son el resultado de la interacción entre las señales deseadas, la interferencia y las características del receptor para varias separaciones de frecuencia, las cuales se expresan en términos de separación de frecuencia-distancia, el parámetro de selectividad del receptor o la razón de protección del canal adyacente específico del sistema. (Rico, 2014)

2.5 Norma Técnica de Televisión Digital Terrestre Ecuador

La TDT usa las bandas IV y V de UHF para su funcionamiento, permite interactividad con los usuarios, da diferentes opciones de resolución como lo son la estándar (SDTV) y la de alta definición (HDTV).

- Las principales frecuencias UHF para el Servicio de Televisión Digital Terrestre, van desde el rango de frecuencias de 470 – 644 MHz para la banda IV y en el rango de frecuencias de 644 – 698 MHz para la banda V.

- La canalización de las bandas de frecuencias del Servicio de Televisión Digital Terrestre en la banda UHF, permite identificar el rango de los números del canal físico que va desde el 14 al 50, relacionando las frecuencias iniciales, finales y centrales.
- La intensidad de campo mínima a cubrir es de $51 \frac{dBuV}{m}$, dedicado al uso mínimo del 90 % del tiempo y 50 % en los lugares con antenas receptoras exteriores. (Resolución ARCOTEL, 2015)

2.6 Norma Técnica de Televisión Digital Terrestre Colombia

La intensidad de campo mínima que se debe cumplir en el lado colombiano va de conformidad con lo dispuesto en las tablas y/o fórmulas contenidas en la Sección 3.1 y Anexo 1 del documento EBU-TECH 3348, utilizando los procedimientos necesarios para realizar los ajustes de canalización de 8 MHz a 6 MHz con lo referido en dicho documento. (CRC, 2013)

- Las principales frecuencias UHF para el Servicio de Televisión Digital Terrestre, van desde el rango de frecuencias de 470 – 632 MHz para la banda IV y en el rango de frecuencias de 632 – 698 MHz para la banda V. (MICTIC_RESOLUCIÓN2545, 2009)
- La canalización de las bandas de frecuencias del Servicio de Televisión Digital Terrestre en la banda UHF, permite identificar el rango de los números del canal físico que va desde el 15 al 51, relacionando las frecuencias iniciales, finales y centrales.
- La intensidad de campo mínima a cubrir es de $42 \frac{dBuV}{m}$, dedicado al uso mínimo del 90 % del tiempo y 50 % en los lugares con antenas receptoras exteriores. (MINTIC-CONVENIO2015, 2015)

CAPÍTULO 3

SIMULACIÓN DEL ENLACE COBERTURA ENTRE LOS ESTÁNDARES DE TDT DE ECUADOR (ISDB-TB) Y COLOMBIA (DVB-T2)

En este capítulo se simula los enlaces de cobertura en la zona fronteriza entre Ecuador y Colombia para el posterior análisis de coexistencia entre estos estándares de televisión digital.

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama general de un sistema de transmisión UHF, donde se observa los diferentes componentes del mismo.

Figura 3.1. Diagrama del sistema de transmisión UHF

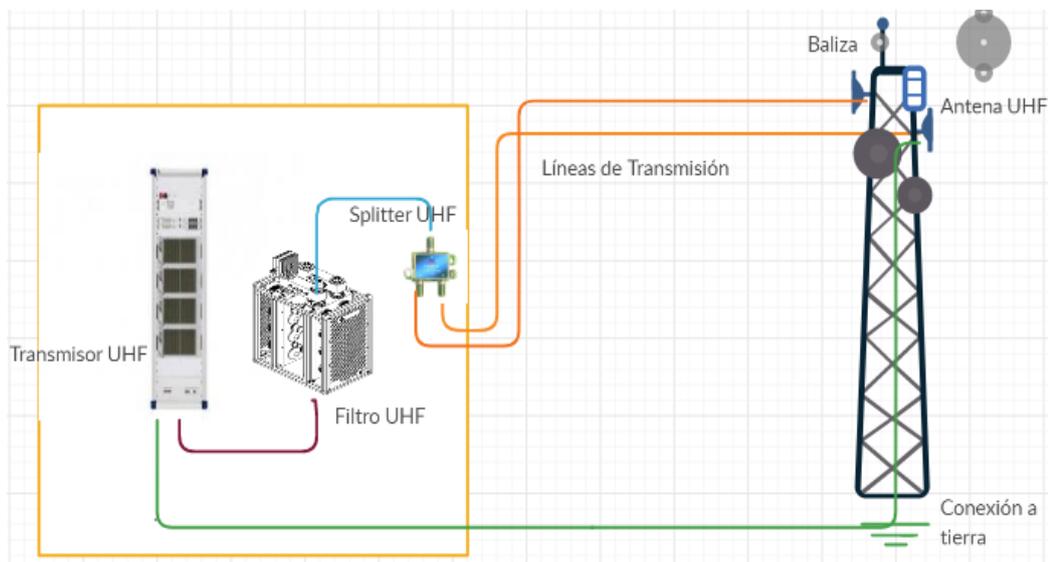


Diagrama general sistema de transmisión UHF, elaborado por: Cristian Zambrano

3.1 Escenario de simulación ISDB-Tb

En la Figura 3.2 se muestra el escenario en el cerro Troya Bajo ubicado en la zona fronteriza de Ecuador en la provincia del Carchi, en las coordenadas que se indica en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Coordenadas geográficas Cerro Troya provincia del Carchi-Ecuador

Coordenadas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Cerro Troya Bajo	00°44'9.8"N	77°42'22.4"W	3379 m

Coordenadas sistema ISDB-Tb, elaborado por: Zambrano Cristian

Figura 3. 2. Ubicación geográfica Cerro Troya Bajo provincia del Carchi



Ubicación geográfica Cerro Troya Bajo, obtenida de Google Earth

3.1.1 Ubicación del sistema radiante de cobertura ISDB-Tb

Con las coordenadas obtenidas se procede a colocar la antena transmisora ISDB-Tb UHF AT15-251 RYMSA RF con sus respectivas características técnicas descritas en la Tabla 3.2. (AT15-251, 2018)

Teniendo en cuenta la norma vigente de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), con respecto a la asignación de canales de la banda UHF, se toma de manera aleatoria el canal 41 (632-638 MHz) con frecuencia central 635 MHz para la operación del sistema ISDB-Tb. (Resolución_ARCOTEL_2015)

El cable o línea de transmisión conectores, filtro, latiguillos, generalmente causan pérdidas en el sistema al conectar la antena con el transmisor de radio; en este punto suele usarse un cable coaxial de baja pérdida para que pueda conducir las ondas de radiofrecuencia. Para el cálculo de este sistema se usa un cable coaxial HCA158-50J de donde se obtiene la atenuación por cada 100 metros en el datasheet del fabricante. (RFS-TheClearChoice, 2007)

Tabla 3.2. Parámetros técnicos de la antena transmisora

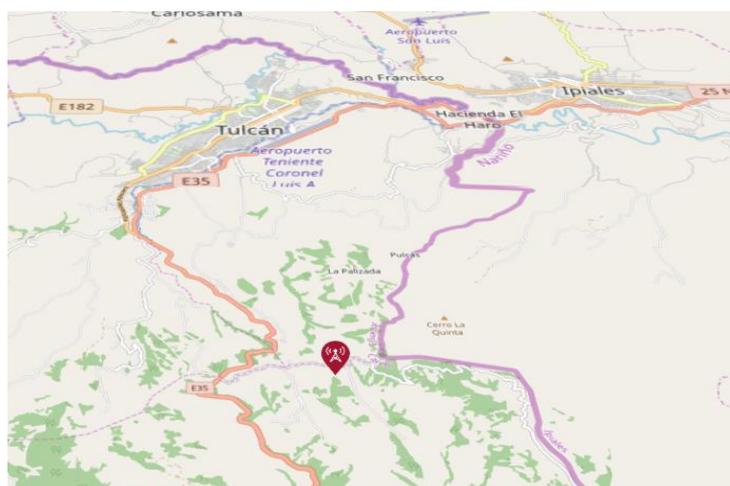
SEÑAL	ISDB-Tb
Tipo de antena	Panel UHF AT15-251 RYMSA RF
Ancho de banda	6 MHz
Ganancia de la antena	11.05 dB
Paneles	1 panel a un Azimut de 330°
Polarización de la antena	H
Inclinación	-12°
Frecuencia (canal/banda)	635 MHz (41/632-638 MHz)
Altura de la antena	20 m
Ubicación geográfica del TX	00°39'40"N 77°42'46"W
Umbral de recepción	51 dBuV/m
Potencia Tx (W)	2.5 W
Potencia Efectiva Radiada Máxima (W)	22.13 W
Tipo de línea de transmisión	HCA158-50J (Cable Coaxial)
Longitud de la línea	23 m
Pérdidas en la línea de transmisión (dB)	0.53
Pérdidas en el filtro (dB)	0.45
Pérdidas en latiguillos + distribución (dB)	0.5

Parámetros de transmisión ISDB-Tb, elaborado por: Zambrano Cristian

Para reducir el grado de interferencia se utilizará un filtro pasabanda UHF el cual permitirá regular el rango de frecuencias TDT y así evitar que otras bandas de frecuencias como las de LTE interfieran en el sistema.

Con la ayuda del software Matlab que ofrece diversos relieves de vista conjuntamente con Google Earth, se procede a simular la colocación de la antena en el Cerro Troya Bajo, como se observa en la Figura 3.3.

Figura 3.3. Ubicación de la antena del sistema ISDB-Tb



Ubicación de la antena ISDB-Tb obtenida de Matlab

3.1.2 Recomendación ITU-R P.1546-5

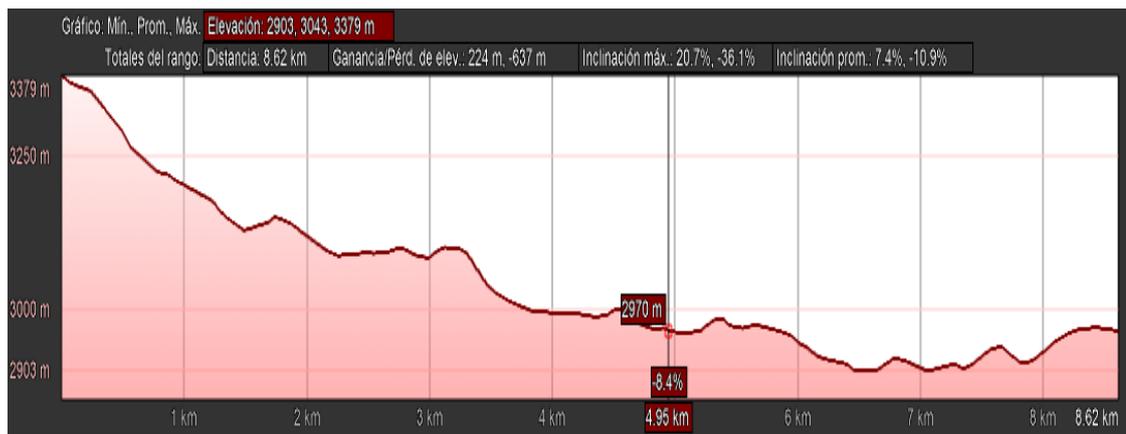
Para calcular la intensidad de campo a una determinada distancia, se usan datos obtenidos de la recomendación ITU-R P.1546-5 presentados en el anexo A.

La recomendación necesita que se defina algunos parámetros de acuerdo a las características de propagación, algunos de los parámetros más importantes son:

- Frecuencia (f): Según la norma técnica para el servicio de radiodifusión de televisión digital terrestre en Ecuador, establece rangos de frecuencia para TDT entre 470 y 698 MHz. En este caso se utilizará la frecuencia del canal 41 (635 MHz).
- Altura del receptor (h_2): Se considera una altura de 10 m.
- Distancia (R): Distancia entre transmisor y receptor de 8.62 Km.
- Altura efectiva (h_1): Para obtener este valor se calcula el promedio de alturas entre transmisor y receptor a diferentes distancias entre ellos.

Se realiza la simulación del perfil de elevación desde el transmisor hasta un determinado receptor a una distancia de 8.62 Km en dirección a la ciudad de Tulcán, con el objetivo de obtener alturas a diferentes distancias y posteriormente la altura efectiva. Para esto se tomó muestras en el trayecto a diferentes alturas sobre el nivel del mar para determinar la altura efectiva. En la Figura 3.4 se observa el perfil de elevación con muestras cada 500 m y en la Tabla 3.3 se observa el número de muestras, la distancia y la altura de cada una.

Figura 3. 4. Perfil de elevación desde el Cerro Troya Bajo a 8.62 Km



Perfil de elevación obtenido de Google Earth

Tabla 3.3. Alturas del perfil de elevación a una determinada distancia

Muestra	Distancia (m)	Altura (m)
1	750	3279
2	1500	3131
3	2250	3090
4	3000	3087
5	3750	3008
6	4500	3002
7	5250	2975
8	6000	2950
9	6750	2919
10	7500	2928

Alturas perfil de elevación, elaborado por: Zambrano Cristian

La altura efectiva (h_1), se calcula de la diferencia de alturas entre el transmisor y el promedio de alturas obtenido del perfil de elevación, en base a la siguiente ecuación.

$$h_1 = h_{total} - h_{promedio} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

$$h_1 = 3279 \text{ m} - 3036,9 \text{ m}$$

$$h_1 = 242,1 \text{ m}$$

- Altura efectiva nominal inferior (h_{inf}): Se usa el valor menor a h_1 , en base a las tablas de la recomendación del anexo A. Este valor es de 150.
- Altura efectiva nominal superior (h_{sup}): Se usa el valor mayor a h_1 , en base a las tablas de la recomendación del anexo A. Este valor es de 300.
- Intensidad de campo para h_{inf} (E_{inf}): Se toma el valor de las tablas de la recomendación en base a la altura h_{inf} del anexo A. Este valor es de 75.45.
- Intensidad de campo para h_{sup} (E_{sup}): Se toma el valor de las tablas de la recomendación en base a la altura h_{sup} del anexo A. Este valor es de 80.70.

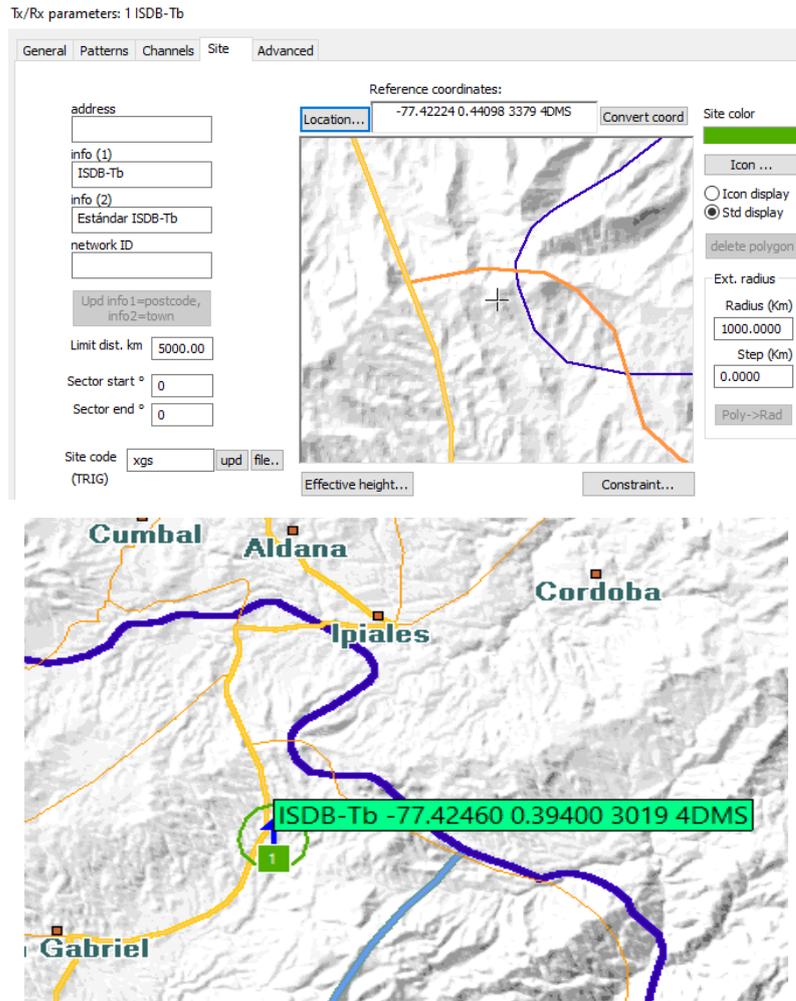
3.1.3 Ingreso de parámetros del enlace de cobertura ISDB-Tb en el software

ICS Telecom

Para la simulación de cobertura se usa el software ICS Telecom V 10.0.0, el cual realiza diferentes cálculos de telecomunicaciones.

Se coloca la antena ISDB-Tb en las coordenadas anteriormente descritas con los parámetros de descripción del enlace, como se observa en la Figura 3.5.

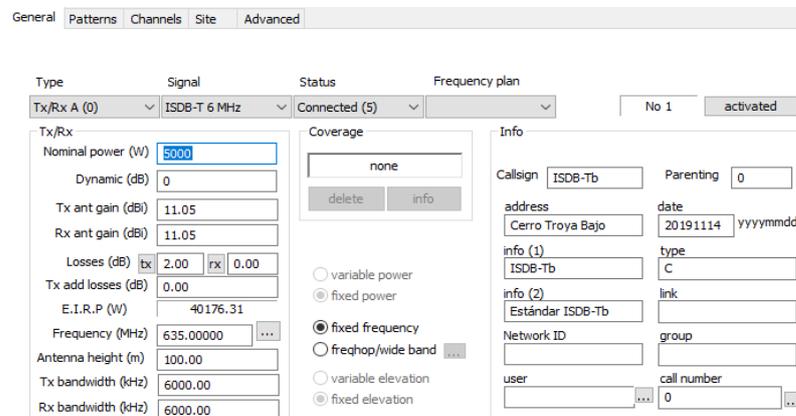
Figura 3. 5. Ubicación de la antena ISDB-Tb



Ubicación de la antena ISDB-Tb, obtenida de ICS Telecom

Posteriormente se puso los parámetros tales como la frecuencia a la cual se va a trabajar en este caso es la frecuencia de 635 MHz, además de la potencia, ganancia y pérdidas del sistema, como se observa en la Figura 3.6.

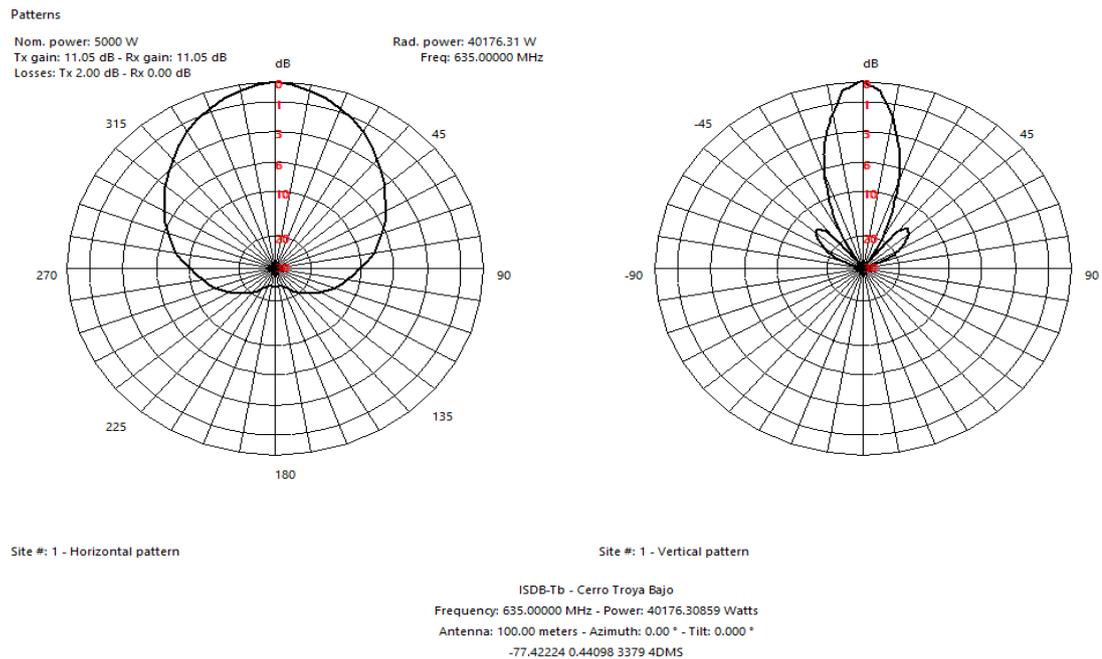
Figura 3. 6. Parámetros del transmisor ISDB-Tb



Parámetros generales del sistema ISDB-Tb obtenida de ICS Telecom

Siguiendo la hoja de las características de la antena RYMSA del anexo 2, se procedió a añadir una nueva antena en el software para poder simular con los parámetros propios de la misma, logrando obtener patrones de radiación tanto horizontal como vertical que se muestran en la Figura 3.7.

Figura 3. 7. Patrones de radiación antena RYMSA



Patrón de radiación Horizontal VS patrón de radiación Vertical, ICS Telecom

Se coloca el tipo de modulación y la intensidad de campo mínima que está destinado al servicio de Televisión Digital según la Norma Técnica para el Servicio de Televisión Digital Terrestre (Resolución_ARCOTEL_2015), que es de $51 \frac{dBuV}{m}$, como se muestra en la Figura 3.8.

Los parámetros de propagación que se utilizarán en el enlace de cobertura serán los de la Recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-R-1546-5, 2013). Se utiliza como método de propagación para el enlace de cobertura debido a que cumple las características técnicas como de terreno para simular el enlace, dichos parámetros se obtuvieron de dicha recomendación.

Figura 3. 8. Intensidad de campo mínima a cubrir

Tx/Rx parameters: 1 ISDB-Tb

General Patterns Channels Site **Advanced**

Type (0) Signal (42) Modulation (42) NFD

Tx/Rx A (0) ISDB-T 6 MHz OFDM

Coverage threshold (dBuV/m)* 51 upd...

Rx threshold (dBuV/m)* 51

Carrier 0

C/N (dB) 0 thresh.

Channel (#) 0 ...

% 70 95 other

C/I Steady Tropo

Launch delay (us) 0

Frequency offset (kHz) 0.0000

Availability % 50.00000

Activity ul/dl (%) 100 / 100

Initial power 5000.00000 Init

Active set

Intensidad de campo mínima, ICS Telecom

3.2 Escenario de simulación DVB-T2

En la Figura 3.9 se muestra el escenario para la simulación del enlace de cobertura DVB-T2, en la ciudad de Pasto, donde el transmisor se ubica en la Estación Galeras según la página colombiana “TDT Colombia”. Las coordenadas se encuentran descritas en la Tabla 3.4. (TDT Colombia, 2019)

Tabla 3.4. Coordenadas geográficas Estación Galeras, Pasto-Colombia

Coordenadas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Estación Galeras	1°11'60"N	77°21'10"W	3808 m

Coordenadas sistema DVB-T2, elaborado por: Zambrano Cristian

Figura 3. 9. Ubicación geográfica Estación Galeras, Pasto-Colombia



Ubicación geográfica Estación Galeras, obtenida de Google Earth

3.2.1 Ubicación del transmisor de cobertura DVB-T2

Con las coordenadas obtenidas se procede a colocar la antena transmisora DVB-T2 UHF UTV-12 marca SIRA con sus respectivas características técnicas descritas en la Tabla 3.5. (UTV-12, 2016)

Según la resolución 2545 del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia, MINTIC, (MICTIC_RESOLUCIÓN2545, 2009), la transmisión se hace en frecuencias de 470 MHz a 512 MHz y 614 MHz a 698 MHz; dejando libre la banda de frecuencias 698 MHz a 806 MHz para la radiocomunicación en casos de emergencia y redes móviles. La ANE (Agencia Nacional del Espectro) establece que los canales del 14 al 20 (470 MHz a 512 MHz) tendrá un servicio para la televisión abierta radiodifundida en tecnología digital de los canales nacionales y regionales. Por lo tanto, se toma de manera aleatoria asumiendo el mismo canal 41 de la simulación anterior del sistema ISDB-Tb (633-638 MHz) con frecuencia central 635 MHz, con el objetivo de analizar las interferencias de podrían existir junto con el sistema DVB-T2.

El cable o línea de transmisión conectores, filtro, latiguillos, generalmente causan pérdidas en el sistema al conectar la antena con el transmisor de radio; en este punto suele usarse un cable coaxial de baja pérdida para que pueda conducir las ondas de radiofrecuencia. Para el cálculo de este sistema se usa el mismo cable coaxial HCA158-50J del sistema ISDB-Tb, de donde se obtiene la atenuación por cada 100 metros en el datasheet del fabricante. (RFS-TheClearChoice, 2007)

Tabla 3.5. Parámetros técnicos de la antena transmisora

SEÑAL	DVB-T2
Tipo de antena	Panel UHF UTV-12 SIRA
Ancho de banda	6 MHz
Ganancia de la antena	13 dB
Paneles	1 a un Azimut de 220°
Polarización de la antena	H
Inclinación	-8°
Frecuencia (canal/banda)	635 MHz (41/632-638 MHz)
Altura de la antena	30 m
Ubicación geográfica del TX	1°11'60"N 77°21'10"W
Umbral de recepción	42 dBuV/m

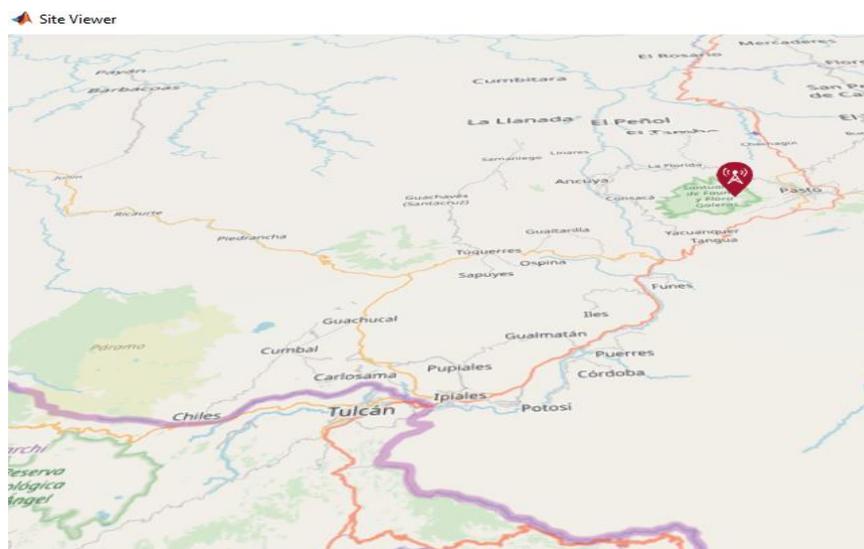
Potencia Tx (W)	35 W
Potencia Efectiva Radiada Máxima (W)	2.5 KW
Tipo de línea de transmisión	HCA158-50J (Cable Coaxial)
Longitud de la línea	33 m
Pérdidas en la línea de transmisión (dB)	0.53
Pérdidas en el filtro (dB)	0.45
Pérdidas en latiguillos + distribución (dB)	0.5

Parámetros de transmisión DVB-T2, elaborado por: Zambrano Cristian

Para reducir el grado de interferencia se utilizará un filtro pasabanda UHF el cual permitirá regular el rango de frecuencias TDT y así evitar que otras bandas de frecuencias como las de LTE interfieran en el sistema.

Con la ayuda del software Matlab se procede a simular la colocación de la antena en la Estación Galeras en la ciudad de Pasto-Colombia. Se usa este software debido a que se puede apreciar de mejor manera el escenario del sistema, como se observa en la Figura 3.10.

Figura 3. 10. Ubicación de la antena del sistema DVB-T2



Ubicación de la antena DVB-T2, obtenida de Matlab

3.2.2 Recomendación ITU-R P.1546-5

Los parámetros requeridos por la recomendación al igual que en el sistema ISDB-Tb, se describen a continuación para DVB-T2:

- Frecuencia (f): En este caso se utilizará una frecuencia de 653 MHz.
- Altura del receptor (h_2): Se considera una altura de 10 m.
- Distancia (R): Distancia entre transmisor y receptor de 53.3 Km

- Altura efectiva (h_1): Para obtener este valor se calcula el promedio de alturas entre transmisor y receptor a diferentes distancias entre ellos.

Al igual que en el caso del sistema ISDB-Tb anteriormente descrito, se hace el mismo procedimiento para el cálculo de la altura efectiva de la antena. En la Figura 3.11 se observa el perfil de elevación del enlace DVB-T2 desde las coordenadas descritas en la Tabla 3.4 hasta un punto de recepción en la ciudad de Ipiales, esta distancia es de 53.3 Km. En la Tabla 3.6 se observa las diferentes muestras obtenidas entre estos dos puntos a distancias de 5000 m.

Figura 3. 11. Perfil de elevación desde Estación Galeras a 53.3 Km



Perfil de elevación obtenido de Google Earth

Tabla 3.6. Alturas del perfil de elevación a una determinada distancia

Muestra	Distancia (m)	Altura (m)
1	5000	3488
2	10000	2727
3	15000	2377
4	20000	2018
5	25000	1861
6	30000	2847
7	35000	3117
8	40000	2902
9	45000	2761
10	50000	2861

Alturas perfil de elevación, elaborado por: Zambrano Cristian

La altura efectiva (h_1), se calcula de la diferencia de alturas entre el transmisor y el promedio de alturas obtenido del perfil de elevación, en base a la siguiente ecuación.

$$h_1 = h_{total} - h_{promedio} \quad \text{Ec. (3.2)}$$

$$h_1 = 3488 \text{ m} - 2701.9 \text{ m}$$

$$h_1 = 786.1 \text{ m}$$

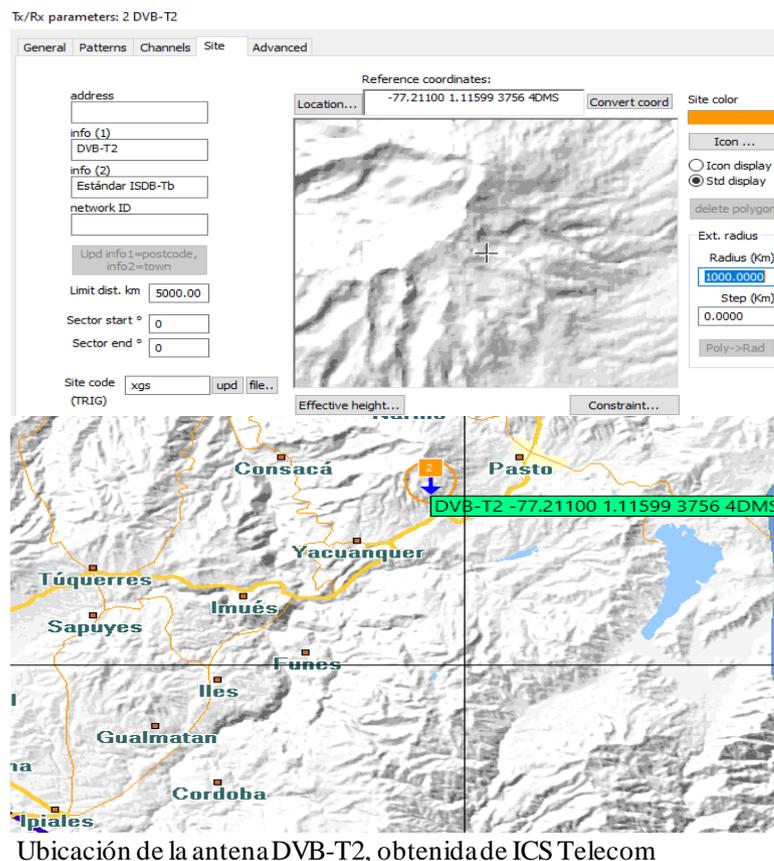
- Altura efectiva nominal inferior (h_{inf}): Se usa el valor menor a h_1 , en base a las tablas de la recomendación del anexo A. Este valor es de 600.
- Altura efectiva nominal superior (h_{sup}): Se usa el valor mayor a h_1 , en base a las tablas de la recomendación del anexo A. Este valor es de 1200.
- Intensidad de campo para h_{inf} (E_{inf}): Se toma el valor de las tablas de la recomendación en base a la altura h_{inf} del anexo A. Este valor es de 55.74.
- Intensidad de campo para h_{sup} (E_{sup}): Se toma el valor de las tablas de la recomendación en base a la altura h_{sup} del anexo A. Este valor es de 67.21.

3.2.3 Ingreso de parámetros del enlace de cobertura DVB-T2 en el software ICS Telecom

Para la simulación de cobertura se usa el software ICS Telecom V 10.0.0, el cual realiza diferentes cálculos de telecomunicaciones.

Se coloca la antena DVB-T2 en las coordenadas anteriormente descritas con los parámetros de descripción del enlace, como se observa en la Figura 3.12.

Figura 3.12. Ubicación de la antena DVB-T2



Posteriormente se colocó los parámetros tales como la frecuencia a la cual se va a trabajar en este caso es la frecuencia de 653 MHz, además de la potencia, ganancia y pérdidas del sistema, como se observa en la Figura 3.13.

Figura 3. 13. Parámetros del transmisor DVB-T2

Tx/Rx parameters: 2 DVB-T2

General Patterns Channels Site Advanced

Type: Tx/Rx A (0) Signal: DVB 6MHz Status: Connected (5) Frequency plan: No 2 activated

Tx/Rx

Nominal power (W): 5000
 Dynamic (dB): 0
 Tx ant gain (dBd): 11.05
 Rx ant gain (dBd): 11.05
 Losses (dB): tx 1.50 rx 0.00
 Tx add losses (dB): 0.00
 E.R.P (W): 45078.56
 Frequency (MHz): 653.00000
 Antenna height (m): 30.00
 Tx bandwidth (kHz): 6000.00
 Rx bandwidth (kHz): 6000.00

Coverage

1546
 delete info

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

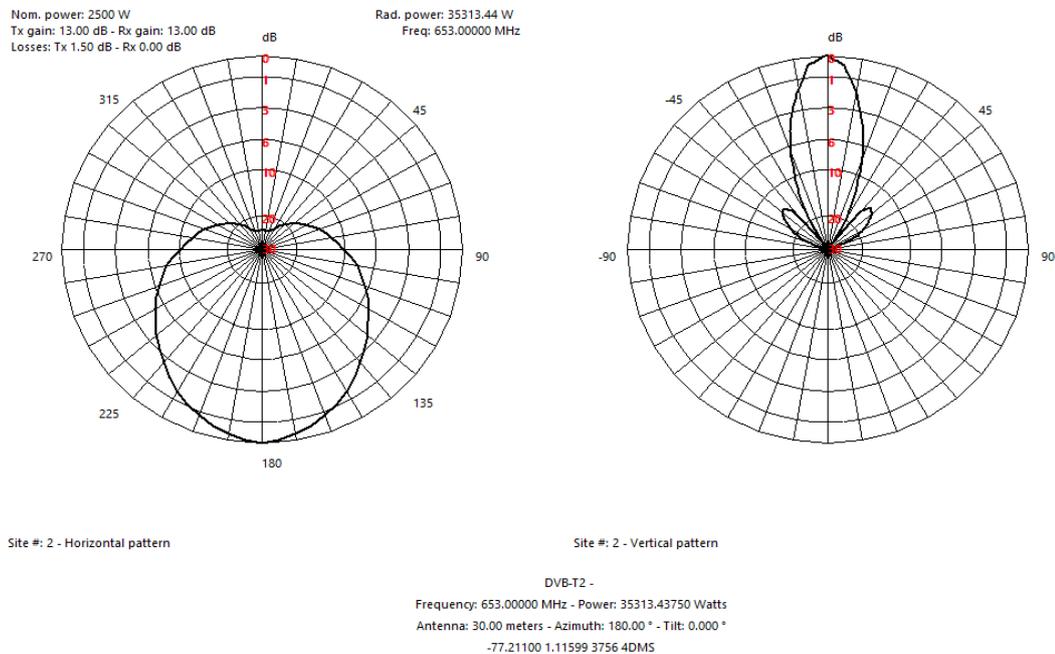
Info

Callsign: DVB-T2 Parenting: 0
 address: date: 20191120
 info (1): DVB-T2 type: C
 info (2): Estándar DVB-T2 link:
 Network ID: group:
 user: call number: 0

Parámetros generales del sistema DVB-T2, obtenida de ICS Telecom

Siguiendo la hoja de las características de la antena SIRA, (UTV-12, 2016), se procedió a añadir una nueva antena en el software para poder simular con los parámetros propios de la misma, logrando obtener patrones de radiación tanto horizontal como vertical que se muestran en la Figura 3.14.

Figura 3. 14. Patrones de radiación antena SIRA



Patrón de radiación Horizontal VS patrón de radiación Vertical, obtenida de ICS Telecom

Se coloca el tipo de modulación y la intensidad de campo mínima que está destinado al servicio de Televisión Digital Terrestre en Colombia según el convenio binacional que existe entre los dos países, que es de $42 \frac{dBuV}{m}$, como se muestra en la Figura 3.15.

Los parámetros de propagación que se utilizarán en el enlace de cobertura serán los de la Recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-R-1546-5, 2013). Se utiliza como método de propagación para el enlace de cobertura debido a que cumple las características técnicas como de terreno para simular el enlace, dichos parámetros se obtuvieron de dicha recomendación.

Figura 3. 15. Intensidad de campo mínima a cubrir

Tx/Rx parameters: 2 DVB-T2

General Patterns Channels Site **Advanced**

Type (0)	Signal (41)	Modulation (42)	NFD
Tx/Rx A (0)	DVB 6MHz	OFDM	

Coverage threshold (dBuV/m)*	<input type="text" value="42"/>	<input type="button" value="upd..."/>	Launch delay (us)	<input type="text" value="0"/>
Rx threshold (dBuV/m)*	<input type="text" value="42"/>		Frequency offset (kHz)	<input type="text" value="0.0000"/>
Carrier	<input type="text" value="0"/>		Availability %	<input type="text" value="50.00000"/>
C/N (dB)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="thresh."/>	Activity ul/dl (%)	<input type="text" value="100"/> / <input type="text" value="100"/>
Channel (#)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="..."/>	Initial power	<input type="text" value="500.00000"/> <input type="button" value="Init"/>

Intensidad de campo mínima DVB-T2, ICS Telecom

CAPITULO 4

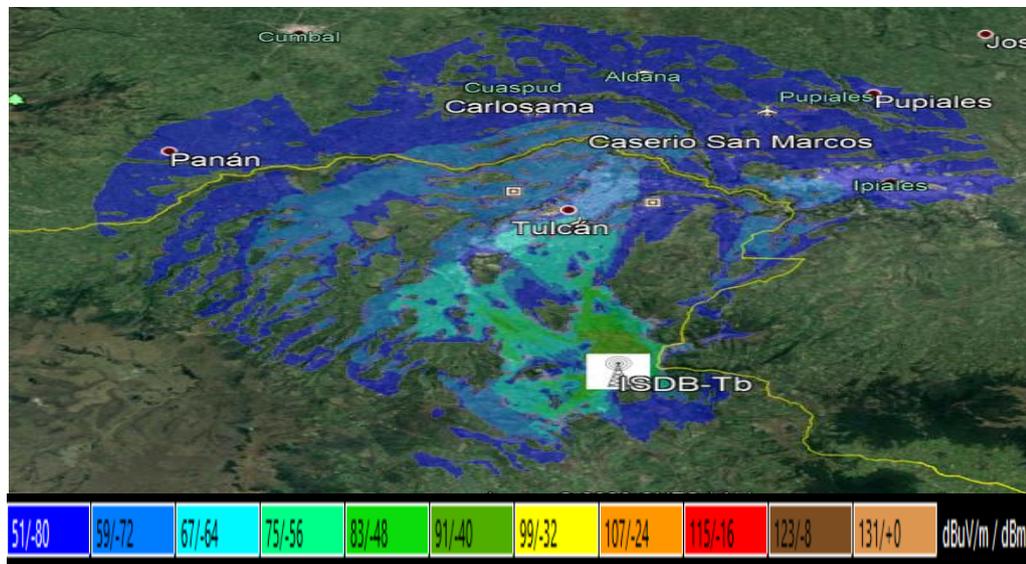
PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se detalla las pruebas y resultados obtenidos de cada enlace de cobertura en la simulación de los sistemas TDT por separado y conjuntamente, para determinar así los posibles parámetros y grado de interferencia entre ellos.

4.1 Pruebas del enlace de cobertura del estándar ISDB-Tb con la recomendación ITU-R P.1546-5

Una vez ingresado todos los parámetros solicitados por la recomendación ITU-R P.1546-5 se obtiene el cálculo de cobertura ISDB-Tb, que se lo realiza con ángulo Azimut de 330° , donde se cubre toda la ciudad de Tulcán y parte de Colombia, como se observa en la Figura 4.1.

Figura 4.1. Enlace de cobertura ISDB-Tb, Azimut 330°



Cobertura ISDB-Tb a un azimut de 330° , obtenida de Google Earth

En la Figura 4.1 se puede observar que la intensidad de campo cubre parte del vecino país colombiano.

Con los datos obtenidos en el capítulo 3 se puede determinar la intensidad de campo del enlace ISDB-Tb, en base a las características y parámetros descritos anteriormente. Este cálculo se lo hace para comprobar que la intensidad de campo mínima requerida

por ARCOTEL es semejante a la calculada y cumple con lo establecido en la norma técnica de Ecuador.

Estas ecuaciones de cálculo se tomaron de la recomendación ITU-R P.1546-5. (ITU-R-1546-5, 2013)

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \left(\log \frac{h_1}{h_{inf}} \right) / \log \frac{h_{sup}}{h_{inf}} \text{ dB}(uV/m) \quad \text{Ec. (4.1)}$$

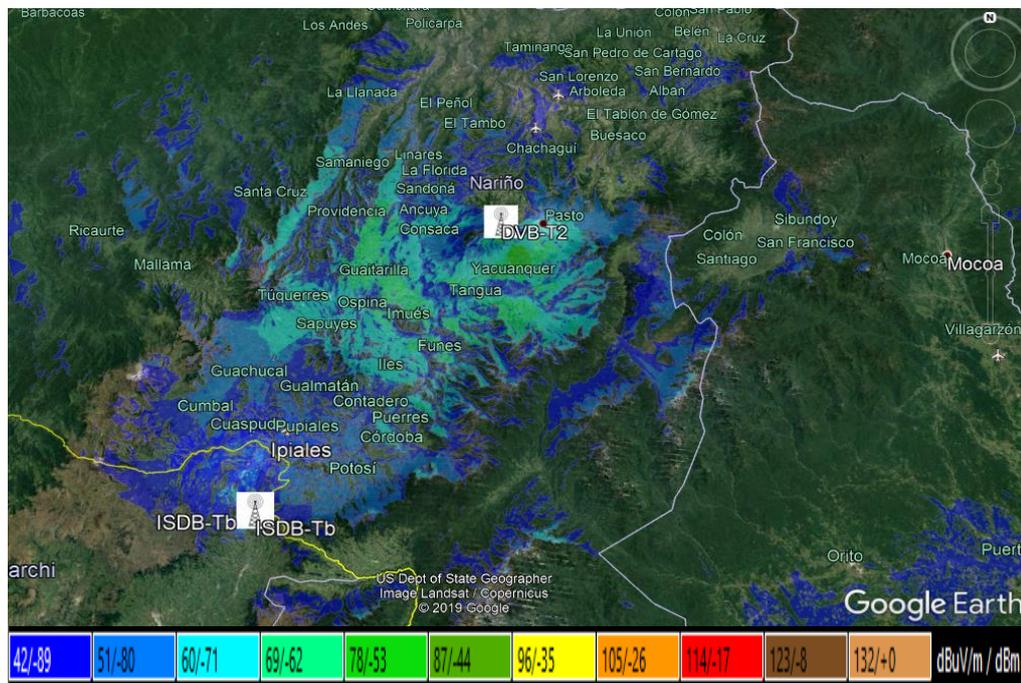
$$E = 82.365 + (86.792 - 82.365) \left(\log \frac{348}{300} \right) / \log \frac{600}{300} \text{ dB}(uV/m)$$

$$E_{isdb} = 83.2947 \text{ dB}(uV/m)$$

4.2 Pruebas del enlace de cobertura del estándar DVB-T2 con la recomendación ITU-R P.1546-5

Una vez ingresado todos los parámetros solicitados por la recomendación ITU-R P.1546-5 se obtiene el cálculo de cobertura DVB-T2, que se lo realiza con ángulo Azimut de 220 °, donde se cubre todo el departamento de Nariño como lo establece la ANE de Colombia incluida la ciudad fronteriza de Ipiales y parte de Ecuador, como se observa en la Figura 4.2.

Figura 4.2. Enlace de cobertura DVB-T2, Azimut 220°



Cobertura DVB-T2 a un azimut de 220°, obtenida de Google Earth

Con los datos obtenidos en el capítulo 3 se puede determinar la intensidad de campo del enlace DVB-T2, en base a la ecuación de intensidad de campo de la recomendación. Este cálculo se lo hace para comprobar que la intensidad de campo mínima requerida por la ANE es semejante a la calculada y cumple con lo establecido en la norma técnica de Colombia.

Estas ecuaciones de cálculo se tomaron de la recomendación ITU-R P.1546-5. (ITU-R-1546-5, 2013)

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \left(\log \frac{h_1}{h_{inf}} \right) / \log \frac{h_{sup}}{h_{inf}} \text{ dB}(uV/m) \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$E = 80.667 + (84.877 - 82.365) \left(\log \frac{122}{75} \right) / \log \frac{150}{75} \text{ dB}(uV/m)$$

$$E_{dvb} = 82.425 \text{ dB}(uV/m)$$

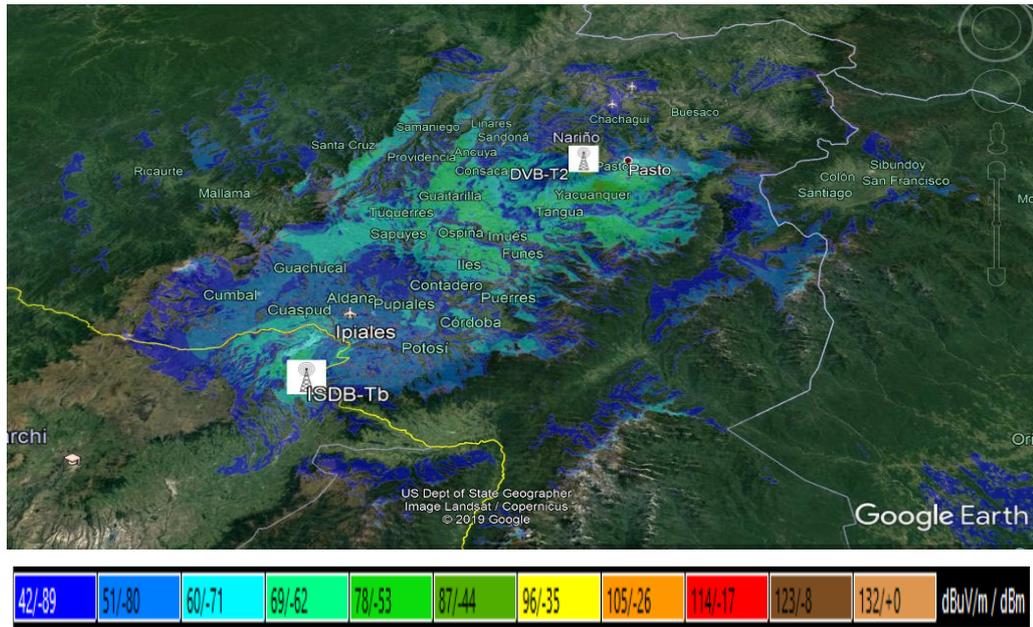
4.3 Pruebas del enlace de cobertura del estándar ISDB-Tb y DVB-T2 con la recomendación ITU-R P.1546-5

Para el análisis se tomó los enlaces de cobertura de las Figuras 4.1 y 4.2 con Azimut de 330° y 220° respectivamente, ya que estos cumplen con los requerimientos del sistema de cobertura en las zonas fronterizas de Tulcán (ISDB-Tb) e Ipiales (DVB-T2).

Debido a que la intensidad de campo mínima a cubrir en ambos países es diferente, $51 \frac{dBuV}{m}$ en Ecuador y $42 \frac{dBuV}{m}$ en Colombia, según el convenio entre estos países, se procede a realizar un análisis individual entre ellos, es decir, se analiza primero el sistema de cobertura a $42 \frac{dBuV}{m}$ y posteriormente a $51 \frac{dBuV}{m}$.

En la Figura 4.3 se observa todo el sistema con una intensidad de campo mínima de $42 \frac{dBuV}{m}$, para determinar el grado de influencia de la señal ISDB-Tb sobre la señal DVB-T2.

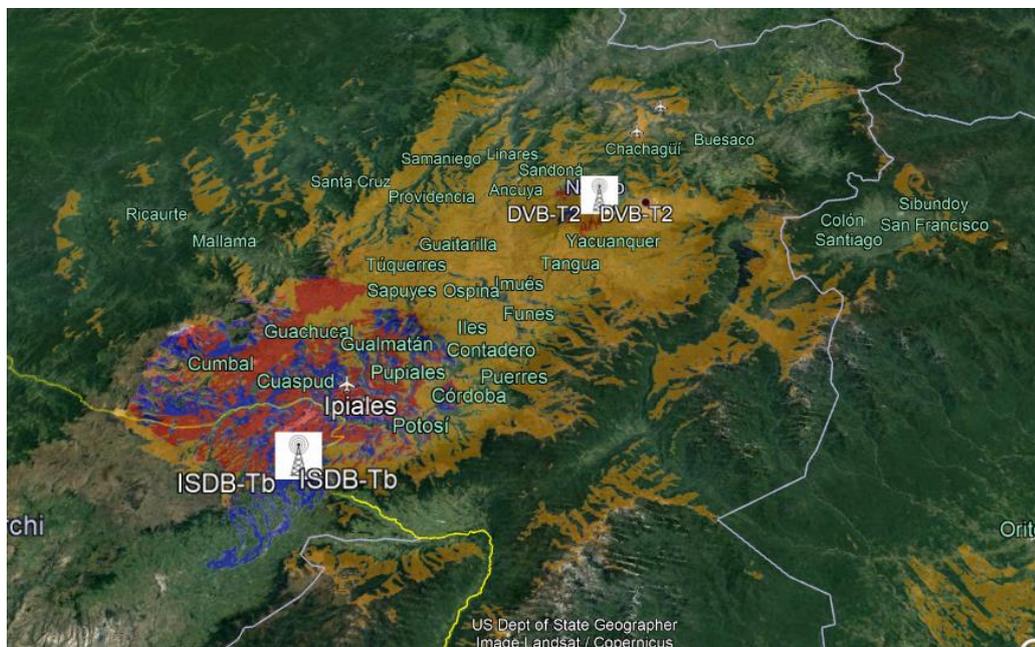
Figura 4.3. Enlace de cobertura ISDB-Tb y DVB-T2



Cobertura ISDB-Tb y DVB-T2 a $42 \frac{dBuV}{m}$, obtenida de Google Earth

Con la ayuda de la herramienta de interferencias del software ICS Telecom se realiza un análisis entre ellos, la señal TDT ISDB-Tb (azul) y la señal TDT DVB-T2 (naranja), teniendo como resultado una señal interferente (rojo) en la zona de frontera, como se muestra en la Figura 4.4

Figura 4.4. Interferencia ISDB-Tb sobre DVB-T2



Interferencia entre ISDB-Tb y DVB-T2 a $42 \frac{dBuV}{m}$, obtenida de Google Earth

Se realiza un cálculo de intensidad de campo recibida en puntos aleatorios en el sector colombiano y a distintas distancias de recepción de las partes interferidas (rojas de la Figura 4.4), para obtener un valor de intensidad de campo. Estos valores se obtienen del software ICS Telecom. En la Tabla 4.1 se puede observar los valores de intensidad de campo recibidas en los mismos.

Tabla 4.1. Parámetros de interferencia Ipiales-Colombia

TRANSMITTER RECEIVED - Rx: from 2.00 m to 10.00 m										
BST	Callsign	Rx (m)	FSR dBuV/m	PR dBm	Freq (MHz)	Dist (km)	T _{CA} (usec)	From	Path	
2	ISDB-Tb	6.00	53.0	-75.95	635.00000 H	12.12	40.38	p2p	LOS	
2	ISDB-Tb	8.00	55.6	-73.35	635.00000 H	12.12	40.38	p2p	LOS	
1	DVB-T2	10.00	52.9	-76.03	635.00000 H	53.60	178.68	p2p	LOS	
2	ISDB-Tb	10.00	57.6	-71.35	635.00000 H	12.12	40.38	p2p	LOS	

Parámetros de interferencia, obtenida de ICS Telecom

Como se puede observar en la Tabla 4.1, la intensidad de campo es mayor a la permitida en Colombia que es de $42 \frac{dBuV}{m}$, por lo que se puede determinar que existe interferencia en ese punto del vecino país.

Para determinar el grado de interferencia se traza un polígono en las zonas rojas (Figura 4.4), donde mediante software se puede obtener el porcentaje de la señal interferente colocando como mínimo y máximo de intensidad de campo $51 \frac{dBuV}{m}$.

En la Figura 4.5 se puede observar el porcentaje de interferencia y el área cubierta interferida.

Figura 4.5. Resultado de interferencia y área interferida

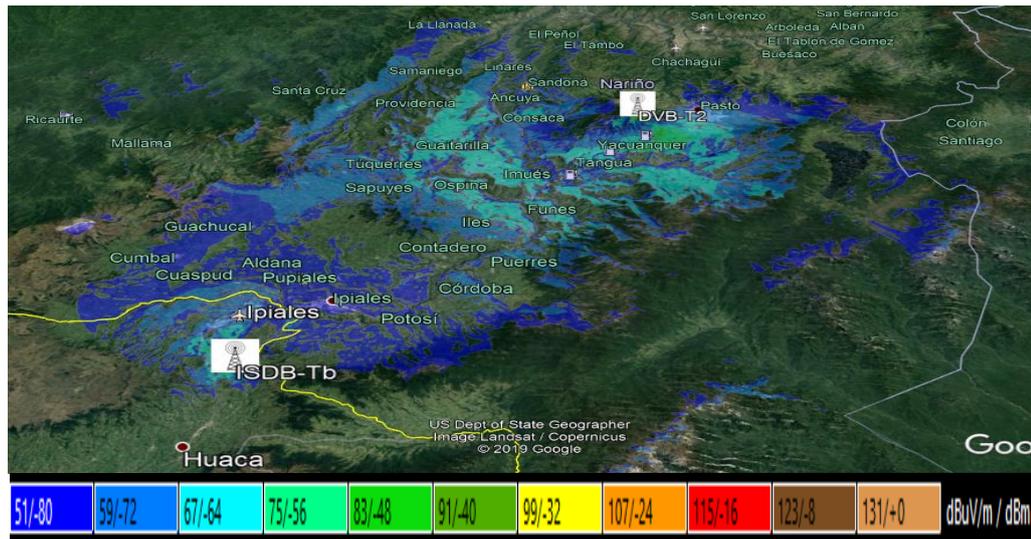
area covered (%)	3.3159
area covered (km ²)	4.5432
total area (km ²)	137.01

Grado de interferencia, obtenida de ICS Telecom

El porcentaje de interferencia de ISDB-Tb sobre DVB-T2 es 3.3159, esto se debe a que la intensidad de campo de Ecuador es mayor que el de Colombia.

Por otro lado, en la Figura 4.6 se observa todo el sistema con una intensidad de campo mínima de $51 \frac{dBuV}{m}$, para determinar el grado de influencia de la señal DVB-T2 sobre la señal ISDB-Tb.

Figura 4.6. Enlace de cobertura DVB-T2 e ISDB-Tb



Cobertura ISDB-Tb y DVB-T2 a $51 \frac{dBuV}{m}$, obtenida de Google Earth

Con la ayuda de la herramienta de interferencias del software ICS Telecom se realiza un análisis entre ellos, la señal TDT DVB-T2 (naranja) y la señal TDT ISDB-Tb (azul), teniendo como resultado una señal interferente (rojo) en la zona de frontera, como se muestra en la Figura 4.7.

Figura 4.7. Interferencia DVB-T2 sobre ISDB-Tb



Interferencia entre DVB-T2 e ISDB-Tb a $51 \frac{dBuV}{m}$, obtenida de Google Earth

Se realiza un cálculo de intensidad de campo recibida en puntos aleatorios en el sector ecuatoriano y a distintas distancias de recepción de las partes interferidas (rojas de la Figura 4.7), para obtener un valor de intensidad de campo. Estos valores se obtienen del software ICS Telecom. En la Tabla 4.2 se puede observar los valores de intensidad de campo recibidas en los mismos.

Tabla 4.2. Parámetros de interferencia Tulcán-Ecuador

TRANSMITTER RECEIVED - Rx: 10.00 m

BST	Callsign	Address	FSR dBuV/m	PR dBm	Freq (MHz)	Dist (km)	ToA (usec)	From	Path
1	DVB-T2	Estación Galeras	51.0	-77.97	635.00000 H	56.40	187.99	coverage	nc
2	ISDB-Tb	Cerro Troya Bajo	61.0	-67.97	635.00000 H	10.57	35.23	coverage	nc

Parámetros de interferencia, obtenida de ICS Telecom

Como se puede observar en la Tabla 4.2, la intensidad de campo NO es mayor a la establecida en Ecuador, que es de $51 \frac{dBuV}{m}$, por lo que se puede determinar que el grado de interferencia debería ser mínima o no existiría interferencia en ese punto del país.

Para determinar el grado de interferencia se traza un polígono en las zonas rojas (Figura 4.7), donde mediante software se puede obtener el porcentaje de la señal interferente colocando como mínimo y máximo de intensidad de campo $42 \frac{dBuV}{m}$.

En la figura 4.8 se puede observar el porcentaje de interferencia y el área cubierta interferida.

Figura 4.8. Resultado de interferencia y área interferida

area covered (%)	0.9078
area covered (km2)	1.1916
total area (km2)	131.26

Grado de interferencia, obtenida de ICS Telecom

Al existir esta diferencia de intensidad mínima de campo entre estos países es comprobable que en este caso se haya obtenido un porcentaje mínimo de 0.9078. Conjuntamente el sistema obtendría un porcentaje de interferencia de 4.2237.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se analizó los sistemas de televisión digital terrestre ISDB-Tb y DVB-T2 implementados en el software ICS Telecom, calculando la intensidad de campo de estos estándares, con el que se obtuvo el grado de interferencia entre ellos en la zona fronteriza entre estos dos países.

Al aplicar la recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-R P.1546-5, se concluyó que es más preciso una predicción con este método, debido a que se basa en mediciones previas en distintas condiciones, las cuales ayudan a tener una aproximación mejor para el cálculo de propagación en la banda de frecuencias de 600 MHz de este proyecto.

Debido a la topografía del terreno en la parte del sistema radiante de ISDB-Tb ubicado a más de 3500 m.s.n.m, se observó que el sistema alcanza a cubrir parte de Colombia concluyendo que esto no afectaría interfiriendo con receptores DVB-T2 en esas zonas ya que son terrenos montañosos.

El grado de interferencia de 4.2237 % no es considerable, por lo que se concluye que estos sistemas TDT de ISDB-Tb y DVB-T2 pueden convivir con los parámetros y escenarios asumidos en este proyecto.

Recomendaciones

Para la predicción de la cobertura de una señal de TDT, el modelo que se recomienda, es la recomendación ITU-1546-5 con ajustes correspondientes a las correcciones de acuerdo a la metodología desarrollada en el presente trabajo.

Para futuras simulaciones se recomienda comparar LTE- Avanzado con respecto a ISDB-Tb en la ciudad de Quito, tanto en el entorno del campus Sur en Chillogallo como en el campus el Girón.

Bibliografía

- ARIB. (2009). *Características del sistema ISDB-T*. Obtenido de https://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf
- AT15-251, U. (2018). *RYMSA TRYO GROUP*. Obtenido de <https://www.tryo.es/wp-content/uploads/2018/06/AT15-251.pdf>
- Bayardo, B. H. (2017). *Estudio y Análisis del Apagón Analógico*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7695/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-193.pdf>
- Bayardo, B. H. (2017). *Estudio y Análisis del Apagón Analógico*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7695/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-193.pdf>
- Bonfante Herazo, E., Torres, R., Rodríguez Arias, H., & Benítez Izquierdo, M. (2014). *CABLEADO ESTRUCTURADO: NORMA EIA TIA 568*. Cartagena de Indias: Comité.
- Carvalho, S. R. (2006). *Utilizacao da Rede SFN*. Obtenido de http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/260063/1/Carvalho_SilvioRenatoMessiasde_M.pdf
- Chacho Ismael, Z. H. (s.f.). *Recomendación de ubicación de transmisores*. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25842/1/tesis.pdf>
- Chie, S., Zambrano, M., & Medina, C. (2015). *Estándares actuales de televisión digital: Una breve reseña*. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/606/html>
- Comunicaciones, C. d. (2012). *Definición de las Especificaciones Técnicas de la TDT en Colombia*. Obtenido de https://www.crcom.gov.co/recursos_user/Documentos_CRC_2012/Actividades_Regulatorias/TDT/documentos_soporte_TDT_20120914.pdf
- CRC, C. (2013). *Resolución 4047*. Obtenido de https://www.crcom.gov.co/recursos_user/Normatividad/Normas_Actualizadas/00004047_TDT_Mod_4672.pdf
- DVB. (2008). *Digital Terrestrial Television*. Obtenido de https://www.dvb.org/resources/public/factsheets/DVB-T_Factsheet.pdf
- EBU3348-OPERATING-EUROVISION-AND-EURORADIO. (2014). *FREQUENCY AND NETWORK PLANNING ASPECTS OF DVB-T2*. Obtenido de tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf
- Interferencia TDT*. (2012). Obtenido de <http://www.osso.org.co/docu/tesis/2001/comportamiento/marcot.pdf>
- Introducción a OFDM*. (2011). Obtenido de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11254/fichero/5_CAPITULO+1.pdf
- ITU-R-1546-5. (2013). *Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3000 Mhz*. Obtenido de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-5-201309-I!!PDF-S.pdf
- Jácome, J., Pazmiño, A., Gavilanes, J., Martínez, O., & Ribadeneira, J. (15 de Septiembre de 2017). *Análisis de modelos de propagación para televisión digital terrestre (TDT), bajo el estándar ISDB-Tb en las ciudades de Ambato y Latacunga, Ecuador*. Obtenido de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/414/302>
- MICTIC_RESOLUCIÓN2545. (2009). *Asignación Frecuencias*. Obtenido de https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-3771_documento.pdf

- Milan, R. J. (2010). *Televisión Digital Terrestre (TDT)*. Obtenido de <https://www.ramonmillan.com/documentos/tdt.pdf>
- MINTIC-CONVENIO2015. (2015). *CONVENIO ECUADOR-COLOMBIA2015*.
- Miranda Valdivia, D. M., Fuentes Sánchez, O. R., & Urbina López, S. A. (Agosto de 2015). *Análisis del estándar ISDB-T para ser utilizado en una posible implementación de la televisión digital terrestre en Nicaragua*. Obtenido de <http://ribuni.uni.edu.ni/1245/1/80670.pdf>
- Omar, M. (2015). *Diseño e implementación de una aplicación interactiva de TDT en la norma ISDB-Tb*. Obtenido de dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/602/1/UNACH-EC-IET-2015-0003.pdf
- Pisciotta, N. O. (Septiembre de 2010). *Sistema ISDB-Tb*. Obtenido de http://www2.elo.utfsm.cl/~elo341/SistemaISDB_Tb.pdf
- Plan Técnico de Televisión*. (2014). Obtenido de https://www.ane.gov.co/images/News-docs/old/ttv/presentacion_pttv_vsocializacion1_2014-04-04_final.pdf
- Publicaciones de la UIT*. (2009). Obtenido de <https://www.itu.int/es/publications/ITU-R/Pages/default.aspx>
- Resolución ARCOTEL, 2. (2015). *NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE*. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tdt.pdf>
- Resolución ARCOTEL, 2015. (s.f.). *Resolución ARCOTEL 2015 Radiodifusión TDT*. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tdt.pdf>
- RFS-TheClearChoice. (2007). *HCA158-50J*. Obtenido de http://www.centercable.com/doc/RFS/HELIFLEX_CABLES/HCA158_50J.pdf
- Ribadeneira Ramirez, J. (28 de Mayo de 2012). *Análisis de Interferencias para la planificación de las redes TDT en la región andina*.
- Rico, M. A. (2014). *Interferencias en sistemas de radiodifusión en zonas de frontera*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5076413.pdf>
- Roing, J. V. (2010). *Planificación de nuevas redes de radiodifusión de TDT y estudio del dividendo digital*. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15365/PFC_Joan%20Verges.pdf
- Ruíz, R. M. (2008). *Guía para el usuario de la Televisión en alta definición*. Obtenido de <http://www.televisiandigital.gob.es/ayuda-ciudadano/Documents/GuiaHD.pdf>
- Taco, I. C. (2015). *Análisis, diseño e implementación de un sistema de VoIP para el Hospital Un Canto a la Vida*. Quito: repositorio UPS.
- TDT Colombia, T. D. (2019). *TDT Colombia*. Obtenido de <https://www.tdtparatodos.tv/cobertura>
- Tene, Á. V. (2013). *Análisis del sistema de TDT*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5783/1/UPS-ST001062.pdf>
- UTV-12, S. (2016). *CATALOGUE ANTENNAS SIRA*. Obtenido de https://www.kathreinusa.com/wp-content/uploads/2016/04/catalogo_antennas_150218_bassa.pdf
- V.573-5, I.-R. (2007). *Radiocommunication vocabulary*. Obtenido de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.573-5-200709-S!!PDF-E.pdf

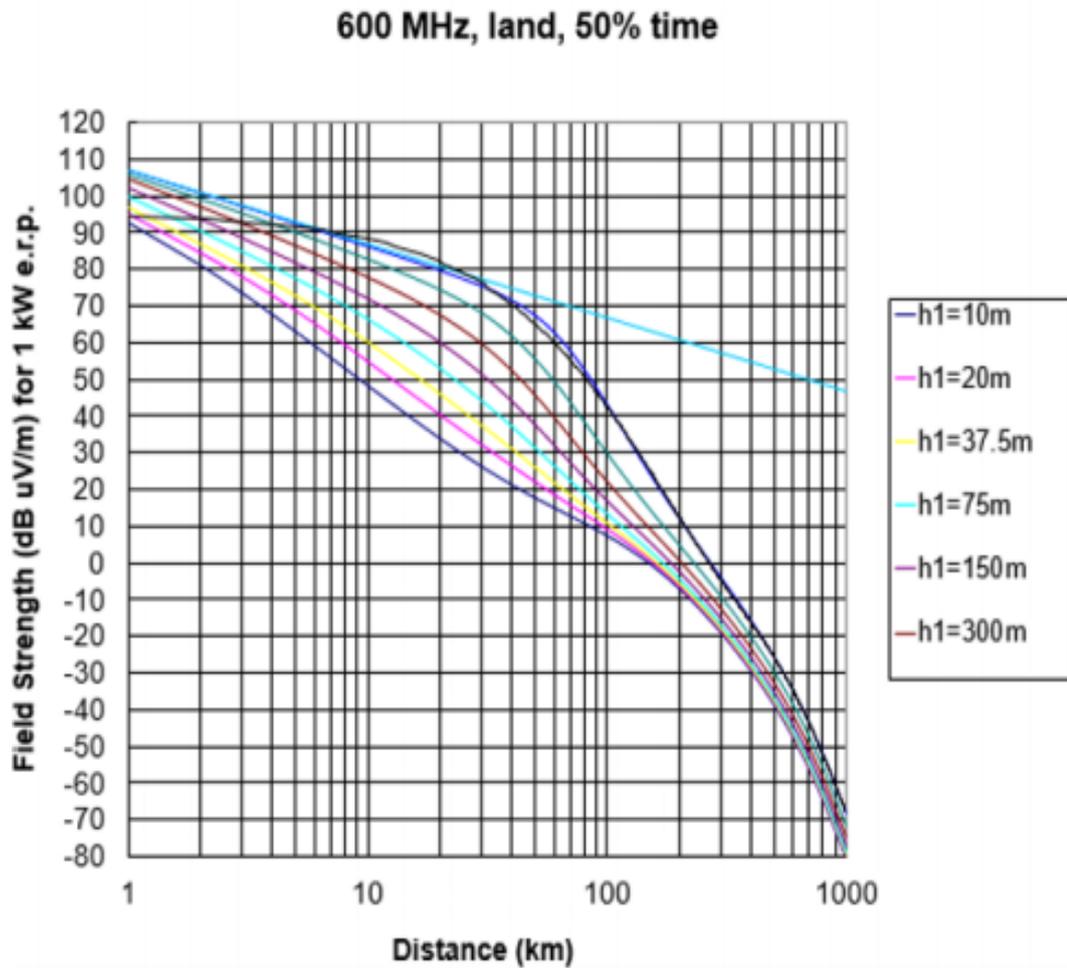
Vega, C. P. (2000). *Compresión de Video*. Obtenido de <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Compresion%20de%20video.pdf>
Vialfa, C. (08 de Marzo de 2017). *CCM*. Obtenido de <http://es.ccm.net/contents/253-lan-red-de-area-local>

ANEXOS

ANEXO 1

En la figura A.1 se observa las curvas de intensidad de campo VS distancia de la recomendación ITU-R P.1546

Figura A. 1: Intensidad de campo VS Distancia



Extraído de la recomendación ITU-R.P.1546. (ITU-R-1546-5, 2013)

En las Figuras A.2, A3, A4, A5 se observa los valores de intensidad de campo a diferentes distancias según la recomendación ITU-R 1546-5

Figura A. 2: Valores de Campo Eléctrico Tabulados, 50% de las ubicaciones, 50% del tiempo

Distancia Km	Altura en Metros				Campo Eléctrico Max. dB(μ V/m)
	10	20	37.5	75	
1	92.681	94.868	97.072	99.699	106.900
2	81.108	84.291	87.092	90.356	100.879
3	73.480	77.690	81.046	84.741	97.358
4	67.693	72.675	76.575	80.667	94.859
5	63.064	68.556	72.942	77.421	92.921
6	59.229	65.047	69.834	74.687	91.337
7	55.965	61.992	67.096	72.296	89.998
8	53.130	59.293	64.640	70.152	88.838
9	50.628	56.879	62.410	68.195	87.815
10	48.393	54.701	60.370	66.387	86.900
11	46.377	52.719	58.489	64.702	86.072
12	44.542	50.904	56.748	63.122	85.316
13	42.862	42.862	55.127	61.633	84.621
14	41.315	47.680	53.613	60.244	83.977
15	39.883	46.238	52.192	58.888	83.378
16	38.553	44.890	50.856	57.617	82.818
17	37.312	43.626	49.594	56.404	82.291
18	36.151	42.437	48.399	55.244	81.795
19	35.062	41.315	47.265	54.133	81.325
20	34.038	40.254	46.185	53.066	80.879
25	29.704	35.679	41.448	48.276	78.941
30	26.339	31.999	37.521	44.162	77.358
35	29.704	28.930	34.148	40.517	76.019
40	21.411	26.304	31.182	37.224	74.859
45	19.531	24.013	28.535	34.219	73.836
50	17.910	21.986	26.151	31.464	72.921
55	16.485	20.173	23.991	28.936	72.093
60	15.211	18.536	22.027	26.616	71.337
65	14.051	17.044	20.233	24.486	70.642
70	12.982	15.675	18.588	22.530	69.998
75	11.982	14.407	17.071	20.730	69.399
80	11.037	13.223	15.666	19.068	68.838
85	10.136	12.111	14.357	17.527	68.312
90	9.269	11.059	13.129	16.093	67.815
95	8.429	10.056	11.972	14.751	67.346
100	7.612	9.095	10.874	13.489	66.900

Extraído de: (Chacho Ismael, 2015)

Figura A. 3: Valores de Campo Eléctrico Tabulados, 50% de las ubicaciones, 50% del tiempo

Distancia Km	Altura en Metros				Campo Eléctrico Max. dB(μ V/m)
	150	300	600	1200	
1	102.345	104.591	106.007	106.629	106.900
2	93.803	97.071	99.417	100.484	100.879
3	88.624	92.462	95.443	96.866	97.358
4	84.877	89.107	92.562	94.285	94.859
5	81.920	86.457	90.290	92.275	92.921
6	79.459	84.256	88.406	90.626	91.337
7	77.333	82.365	86.792	89.227	89.998
8	75.447	80.700	85.376	88.010	88.838
9	73.739	79.204	84.110	86.933	87.815
10	72.167	77.839	82.961	85.965	86.900
11	70.703	76.576	81.907	85.965	86.072
12	69.327	75.396	80.928	84.279	85.316
13	68.022	74.282	80.013	83.533	84.621
14	66.780	73.223	79.148	82.838	83.977
15	65.590	72.209	78.327	82.187	83.378
16	64.447	71.233	77.541	81.574	82.818
17	63.345	70.289	76.786	80.993	82.291
18	62.280	69.373	76.056	80.441	81.795
19	61.250	68.480	75.346	79.914	81.325
20	60.250	67.607	74.655	79.408	80.879
25	55.634	63.479	71.375	77.129	78.941
30	51.501	59.617	68.237	75.108	77.358
35	47.713	55.935	65.125	73.200	76.019
40	44.194	52.395	61.999	71.296	74.859
45	40.906	48.992	58.862	69.318	73.836
50	37.834	45.734	55.739	67.213	72.921
55	34.972	42.632	52.661	64.966	72.093
60	32.314	39.698	49.656	62.591	71.337
65	29.852	36.938	46.748	60.122	70.642
70	27.578	34.354	43.955	57.601	69.998
75	25.477	31.941	41.287	55.065	69.399
80	23.536	29.694	38.752	52.542	68.838
85	21.739	27.602	36.351	50.056	68.312
90	20.070	25.654	34.083	47.624	67.815
95	18.515	23.837	31.944	45.227	67.346
100	17.061	22.138	29.928	42.964	66.900

Extraído de: (Chacho Ismael, 2015)

Figura A. 4: Valores de Campo Eléctrico Tabulados, 50% de las ubicaciones, 10% del tiempo

Distancia Km	Altura en Metros				Campo Eléctrico Max. dB(uV/m)
	10	20	37.5	75	
1	92.788	94.892	97.076	99.699	106.900
2	81.956	84.747	87.449	90.672	100.879
3	74.848	78.446	81.617	85.246	97.358
4	69.340	73.650	77.292	81.294	94.859
5	64.860	69.686	73.762	78.128	92.921
6	61.111	66.285	70.727	75.443	91.337
7	57.905	63.306	68.041	73.080	89.998
8	55.112	60.663	65.622	70.947	88.838
9	52.644	58.294	63.421	68.991	87.815
10	50.438	56.151	61.403	67.177	86.900
11	48.448	54.200	59.543	65.484	86.072
12	46.638	52.411	57.819	63.895	85.316
13	44.982	50.764	56.216	62.397	84.621
14	43.459	49.238	54.719	60.982	83.977
15	42.051	47.820	53.316	59.642	83.378
16	40.746	46.497	51.998	58.369	82.818
17	39.531	45.259	50.757	57.158	82.291
18	38.398	44.096	49.583	56.003	81.795
19	37.338	43.002	48.472	54.899	81.325
20	36.344	41.970	47.417	53.843	80.879
25	32.186	37.563	42.829	49.148	78.941
30	29.036	34.091	39.096	45.192	77.358
35	26.584	31.269	35.962	41.762	76.019
40	24.632	28.922	33.274	38.735	74.859
45	23.045	26.935	30.938	36.040	73.836
50	21.725	25.230	28.891	33.629	72.921
55	20.605	23.747	27.083	31.469	72.093
60	19.631	22.442	25.478	29.532	71.337
65	18.766	21.279	24.043	27.791	70.642
70	17.980	20.228	22.749	26.219	69.998
75	17.252	19.267	21.572	24.792	69.399
80	16.584	18.376	20.490	23.489	68.838
85	15.905	17.539	19.487	22.288	68.312
90	15.265	16.745	18.546	21.174	67.815
95	14.638	15.982	17.656	20.130	67.346
100	14.017	15.244	16.806	19.145	66.900

Extraído de: (Chacho Ismael, 2015)

Figura A. 5: Valores de Campo Eléctrico Tabulados, 50% de las ubicaciones, 10% del tiempo

Distancia Km	Altura en Metros				Campo Eléctrico Max. dB(μ V/m)
	150	300	600	1200	
1	102.345	104.591	106.007	106.629	106.900
2	94.076	97.267	99.511	100.511	100.879
3	89.076	92.812	95.623	96.917	97.358
4	85.451	89.574	92.819	94.359	94.859
5	82.577	87.011	90.613	92.369	92.921
6	80.171	84.877	88.786	90.738	91.337
7	78.076	83.033	87.219	89.356	89.998
8	76.202	81.398	85.842	88.154	88.838
9	74.491	79.917	84.607	87.090	87.815
10	72.904	78.553	83.481	86.134	86.900
11	71.416	77.279	82.440	85.265	86.072
12	70.010	76.077	81.467	84.466	85.316
13	68.673	74.932	80.549	83.727	84.621
14	67.396	73.835	79.675	83.037	83.977
15	66.172	72.778	78.835	82.388	83.378
16	64.997	71.755	78.025	81.775	82.818
17	63.866	70.762	77.239	81.193	82.291
18	62.777	69.796	76.473	80.637	81.795
19	61.725	68.854	75.723	80.104	81.325
20	60.708	67.934	74.987	79.591	80.879
25	58.071	63.622	71.455	77.239	78.941
30	52.015	59.690	68.237	75.108	77.358
35	48.386	56.051	65.125	73.200	76.019
40	45.095	52.651	61.999	71.296	74.859
45	42.094	49.468	58.862	69.318	73.836
50	39.356	46.496	55.739	67.213	72.921
55	36.864	43.729	52.782	64.966	72.093
60	34.600	41.168	50.059	62.591	71.337
65	32.545	38.808	47.476	60.122	70.642
70	30.680	36.638	45.042	57.601	69.998
75	28.984	34.645	42.757	55.065	69.399
80	27.434	32.814	40.618	52.611	68.838
85	26.012	31.127	38.619	50.394	68.312
90	24.698	29.567	36.751	48.253	67.815
95	23.476	28.120	35.005	46.196	67.346
100	22.332	26.771	33.370	44.226	66.900

Extraído de: (Chacho Ismael, 2015)