



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**Análisis de la infraestructura tecnológica de los sistemas de TDT,
IPTV y OTT a través de simulaciones para la optimización de la
cobertura geográfica en la provincia de Pichincha**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniería en
Telecomunicaciones**

Autor:

Gusñay Palta Jhonnatan Kevin

Tutor:

PhD. Ciro Diego Radicelli García

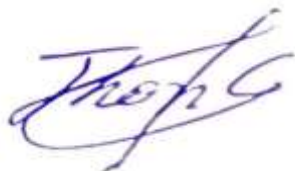
Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Jhonnatan Kevin Gusñay Palta, con cédula de ciudadanía 0605879782, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: Análisis De La Infraestructura Tecnológica De Los Sistemas De TDT, IPTV Y OTT A Través De Simulaciones Para La Optimización De La Cobertura Geográfica En La Provincia De Pichincha, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 29 de Abril del 2026.




Jhonnatan Kevin Gusñay Palta

C.I: 0605879782

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Ciro Diego Radicelli García** catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación **Análisis de la infraestructura tecnológica de los sistemas de TDT, IPTV y OTT a través de simulaciones para la optimización de la cobertura geográfica en la provincia de Pichincha**, bajo la autoría de **Jhonnatan Kevin Gusñay Palta**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 18 días del mes de febrero de 2026.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ciro Radicelli', is written over a horizontal line.

PhD. **Ciro Diego Radicelli García**

c.i: 1713535225

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL


Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación "Análisis de la infraestructura tecnológica de los sistemas de TDT, IPTV y OTT a través de simulaciones para la optimización de la cobertura geográfica en la provincia de Pichincha", presentado por Jhonnatan

Kevin Gusñay Palta, con cédula de identidad número 060587978-2, bajo la tutoría del Ph.D. Ciro Diego Radicelli García certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 29 de abril de 2026.

PhD. Daniel Santillan.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Alejandra Pozo

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. Eduardo Haro

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, JHONNATAN KEVIN GUSÑAY PALTA con CC: 060587978-2 , estudiante de la Carrera de TELECOMUNICACIONES , Facultad de INGENIERÍA ; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado “Análisis de la infraestructura tecnológica de los sistemas de TDT, IPTV y OTT a través de simulaciones para la optimización de la cobertura geográfica en la provincia de Pichincha”, cumple con el 3% de similitud y 4% de Inteligencia Artificial, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio COMPILATIO , porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 17 de abril de 2026



PhD. Ciro Diego Radicelli García
TUTOR

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por brindarme la fuerza, la salud y la sabiduría necesaria para culminar esta etapa más de mi vida.

A mi madre María Susana Gusñay Palta, por ser el pilar fundamental, por su amor y apoyo incondicional, por sus sacrificios, por enseñarme a no rendirme y por ser un ejemplo de perseverancia a seguir,

A mis hermanos y hermanas, que con sus palabras de aliento y apoyo constante me motivaron a seguir adelante.

A mis amigos, que confiaron y acompañaron durante esta etapa haciendo más ligero este camino.

A todos aquellos que creyeron en mí, esta etapa también es suya.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional de Chimborazo por permitirme formarme como profesional dentro de sus aulas, y a la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones.

A mi tutor, el PhD. Ciro Diego Radicelli García, a quien he tenido el gusto de tenerlo como profesor y luego como director dándome su guía durante el desarrollo de este trabajo de investigación, gracias por que, con su don de gente y su acertada dirección, he podido alcanzar tan anhelado sueño.

A mis docentes y compañeros de la carrera, así como a todas aquellas personas que aportaron con sus criterios, recomendaciones y ayuda técnica, haciéndome participe de esta gran familia universitaria.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I	17
1. INTRODUCCION.....	17
1.1 Descripción del problema.....	19
1.2 Hipótesis y Objetivos	20
1.2.1 Hipótesis	20
1.2.2 Objetivo General.....	20
1.2.3 Objetivos Específicos	20
CAPITULO II	21
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1 Fundamentos de las tecnologías TDT, IPTV y OTT.....	21
2.1.1 Televisión Digital Terrestre (TDT)	21
2.1.2 Televisión por Protocolo de Internet (IPTV).....	35
2.1.3 Over-The-Top (OTT)	39
2.2 Infraestructura de las tecnologías TDT, IPTV y OTT.....	44
2.2.1 Infraestructura de la Televisión Digital Terrestre (TDT)	44

2.2.2	Infraestructura de IPTV	47
2.2.3	Infraestructura de OTT	48
2.3	Cobertura	53
2.3.1	Cobertura de TDT	53
2.3.2	Cobertura de IPTV	53
2.3.3	Cobertura de OTT.....	54
2.4	Comparación de las tecnologías TDT, IPTV y OTT.....	54
2.5	Estado del arte	56
CAPITULO III		58
3.	METODOLOGIA.....	58
3.1	Tipo de Investigación	58
3.2	Diseño de Investigación.....	58
3.3	Técnicas de recolección de Datos.....	59
3.4	Fases de ejecución	59
3.5	Población de estudio y tamaño de muestra.....	60
3.5.1	Población	60
3.5.2	Muestra	61
3.6	Operación de las variables.....	61
3.7	Métodos de análisis, y procesamiento de datos.....	61
3.8	Análisis de la infraestructura actual.....	62
3.8.1	Infraestructura de TDT	62
3.8.2	Infraestructura de IPTV	63
3.8.3	Infraestructura de OTT	64
3.9	Marco normativo y regulatorio.....	65
3.9.1	Televisión Digital Terrestre.....	65
3.9.2	Televisión por Protocolo de Internet	69
3.9.3	Over-The-Top.....	70

3.10	Herramientas de simulación y análisis geoespacial.....	73
3.11	Modelación de la cobertura	74
3.11.1	Modelación de la cobertura de TDT	74
3.11.2	Modelación de la cobertura de IPTV	76
3.11.3	Modelación de la cobertura de OTT	77
3.12	Modelos de propagación.....	78
3.12.1	Modelo UIT-R P.1546-6	79
3.12.2	Modelo de IPTV	82
3.12.3	Modelo Longley-Rice o ITS Irregular Terrain Mode (ITM).....	82
3.13	Optimización de la cobertura.....	84
3.13.1	Optimización de la cobertura en TDT	84
3.13.2	Optimización de la cobertura de IPTV	85
3.13.3	Optimización de la cobertura de OTT	86
3.14	Validación de los resultados	87
3.14.1	Validación de cobertura de TDT	87
3.14.2	Validación de cobertura de IPTV	87
3.14.3	Validación de cobertura de OTT	88
	CAPITULO IV	90
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	90
4.1	Resultados de la modelación de cobertura de los sistemas	90
4.2	Análisis estadístico	90
4.2.1	Análisis estadístico de TDT	90
4.2.2	Análisis estadístico de IPTV.....	92
4.2.3	Análisis estadístico de OTT.....	93
4.3	Análisis de sensibilidad de parámetros.....	95
4.4	Discusión de los resultados obtenidos	96
	CAPITULO V	98

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
5.1	Conclusiones.....	98
5.2	Recomendaciones	98
6.	BIBLIOGRAFÍA	100
7.	ANEXOS	107
7.1	Antena Kathrein 4DR-16-2HN series para TDT	107
7.2	Antena RF X-TREME APXVBLL15X-Ci20	110
7.3	Cobertura de TDT.....	112
7.4	Cobertura de IPTV	116
7.5	Cobertura de OTT.....	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación técnica de los estándares [13]	26
Tabla 2. Comparación técnica de los estándares [13]	29
Tabla 3. Comparación técnica de los estándares [13]	31
Tabla 4. Comparación técnica de los estándares [13].	34
Tabla 5. Comparación técnica de los estándares	37
Tabla 6. Comparación técnica de los protocolos de transmisión	39
Tabla 7. Comparación técnica de los protocolos de OTT	43
Tabla 8. Tabla comparativa de tecnologías	56
Tabla 9. Ubicación de las antenas de TDT en Pichincha	63
Tabla 10. Información de redes GPON para IPTV	64
Tabla 11. Información de radio bases con servicio LTE para OTT	65
Tabla 12. Bandas de Frecuencias Principales [29]	66
Tabla 13. Canalización de Frecuencias Principales [30]	67
Tabla 14. Intensidad de Emisiones Espurias [30]	67
Tabla 15. Máscara Crítica [30]	68
Tabla 16. Multiprogramación [30].	69
Tabla 17. Tabla de Atención de reclamo	69
Tabla 18. Límites máximos de exposición [60]	71
Tabla 19. Rango de frecuencia para simulación	75
Tabla 20. Frecuencias por operadora	75
Tabla 21. Parámetros técnicos de la antena	75
Tabla 22. Rango de frecuencia para simulación	77
Tabla 23. Parámetros técnicos de la antena	77
Tabla 24. Lista de los parámetros de entrada y de sus límites [63].	81
Tabla 25. Comparación de las versiones del modelo UIT-R P.1546	82
Tabla 26. Parámetros de entrada del modelo ITS junto con los límites de diseño originales [65].	83
Tabla 27. Valores sugeridos para el parámetro de irregularidad del terreno [65].	83
Tabla 28. Climas de radio y valores sugeridos para Ns [65].	84
Tabla 29. Parámetros técnicos de la antena altura de 30 m	85
Tabla 30. Parámetros técnicos de la antena altura de 55 m	85
Tabla 31. Parámetros técnicos de la antena altura de 12 m	86

Tabla 32. Parámetros técnicos de la antena altura de 32 m.....	86
Tabla 33. Clasificación de niveles de señal [66]	87
Tabla 34. Calidad de servicio en base a los niveles de señal [67]......	87
Tabla 35. Clasificación de niveles de señal [64].	88
Tabla 36. Calidad de servicio en base a los niveles de señal [69]......	88
Tabla 37. Clasificación de niveles de señal [67].	89
Tabla 38. Calidad de servicio en base a los niveles de señal [67]......	89
Tabla 39. Cobertura del sistema TDT	91
Tabla 40. Cobertura de la red GPON para IPTV.....	93
Tabla 41. Cobertura de internet móvil para servicio de OTT.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estándares TDT por países [10].....	21
Figura 2. Tecnología IPTV para un edificio [17].	36
Figura 3: Esquema del sistema de transmisión de la TDT bajo estándar ISDBT-Tb [29]..	45
Figura 4: Bandas de Frecuencias Principales [29].....	46
Figura 5: Canalización de Frecuencias Principales [30].	46
Figura 6: Diagrama de la infraestructura propuesto de IPTV [35].....	47
Figura 7: Comparación de arquitecturas centralizadas y en cascada [38].	50
Figura 8: Infraestructura FTTH [37].	51
Figura 9: Arquitectura de red de acceso LTE [39].	52
Figura 10. Fases.....	60
Figura 11. Esquema de las zonas [60]	73
Figura 12. Diagrama de radiación de la antena Kathrein 4DR-16-2HN [61].....	76
Figura 13. Diagrama de radiación en Xirio Online	76
Figura 14. Diagrama de radiación de la antena APXVBL15X-C-i20	78
Figura 15. Diagrama de radiación en Xirio Online	78
Figura 16. 600 MHz, trayecto terrestre, 50% del tiempo [63].....	80
Figura 17. a) Regresión lineal área de cobertura adecuada. b) Regresión lineal área de cobertura limitada. c) Regresión lineal área de cobertura deficiente	92
Figura 18. Regresión lineal de la cobertura de la red GPON	93
Figura 19. a) Regresión lineal área de cobertura adecuada. b) Regresión lineal área de cobertura limitada. c) Regresión lineal área de cobertura deficiente	95

RESUMEN

Esta investigación analiza la infraestructura tecnológica y la cobertura geográfica de la Televisión Digital Terrestre (TDT), la Televisión por Protocolo de Internet (IPTV) y los servicios Over-The-Top (OTT) en la provincia de Pichincha, Ecuador. El estudio se enmarca en el proceso nacional de modernización audiovisual, considerando la adopción del estándar ISDB-Tb y el crecimiento sostenido del acceso a internet fijo y móvil. Se identifican limitaciones técnicas y regulatorias que afectan la cobertura y calidad del servicio, especialmente en zonas rurales.

Se empleó un enfoque metodológico mixto, cuantitativo–cualitativo. La modelación de cobertura se realizó mediante herramientas de simulación basadas en modelos de propagación como ITU-R P.1546 y el modelo de terreno irregular (ITM). Los resultados de simulación fueron procesados y analizados estadísticamente para clasificar niveles de señal e identificar zonas sin cobertura.

Para los servicios IPTV y OTT, la evaluación se centró en la infraestructura GPON y LTE, incorporando parámetros de Calidad de Servicio (QoS) e indicadores de capacidad de red. Los resultados evidencian diferencias significativas en la cobertura: la TDT presenta zonas sin cobertura debido al número limitado de estaciones de transmisión, mientras que IPTV y OTT están condicionados por la cobertura y calidad de la infraestructura de banda ancha. Se observa que las zonas rurales son las más afectadas.

El estudio propone optimizaciones técnicas específicas orientadas a mejorar la cobertura y reducir las desigualdades de acceso a los servicios audiovisuales digitales.

Palabras clave: Cobertura, TDT, IPTV, OTT.

ABSTRACT

This research analyzes the technological infrastructure and geographic coverage of Digital Terrestrial Television (DTT), Internet Protocol Television (IPTV), and Over-The-Top (OTT) services in the province of Pichincha, Ecuador. The study is framed within the national audiovisual modernization process, taking into account the adoption of the ISDBTb standard and the sustained growth of fixed and mobile internet access. Technical and regulatory limitations affecting service coverage and quality, particularly in rural areas, are identified. A mixed quantitative–qualitative methodological approach was employed. Coverage modeling was conducted using simulation tools based on propagation models such as ITU-R P.1546 and the ITS Irregular Terrain Model (ITM). The simulation outputs were processed and statistically analyzed to classify signal levels and identify coverage gaps. For IPTV and OTT services, the evaluation focused on GPON and LTE infrastructure, incorporating Quality of Service (QoS) parameters and network capacity indicators. The results reveal significant disparities in coverage: DTT faces coverage gaps due to a limited number of transmission stations, while IPTV and OTT coverage are constrained by the extent and quality of broadband infrastructure. Notably, rural areas are most affected. The study proposes targeted technical optimizations to improve coverage and address access inequalities in digital audiovisual services.

Keywords: Coverage, TDT, IPTV, OTT.



Reviewed by:

Mgs. Jessica María Guaranga Lema

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0606012607

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

La tecnología ha evolucionado constantemente, en los últimos años, creciendo a pasos agigantados, esto ha permitido tener nuevas formas de acceso a plataformas audiovisuales de entretenimiento marcando un antes y un después.

Ecuador, como parte de su evolución tecnológica, ha buscado modernizar los servicios audiovisuales mediante la implementación de tecnologías como es Televisión Digital Terrestre (TDT), Televisión por Protocolo de Internet (IPTV) y plataformas Over-The-Top (OTT). Estas tecnologías, al basarse en estándares digitales, prometen mejorar la calidad de la transmisión, ampliar la accesibilidad y diversificar las ofertas de contenido.

Siguiendo esta línea, el gobierno de Ecuador el 25 de marzo de 2010 adopta el estándar de televisión digital japonés-brasileño ISDB-Tb mismo que es utilizado por países como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, , Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela, teniendo una población objetivo de 370.876.343 usuarios [1], el 18 de octubre de 2012 el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), resuelve aprobar el Plan Maestro de Transición a la TDT, este contiene las normas, políticas, procedimientos y lineamientos necesarios para el mencionado proceso de transición, así como la propuesta del inicio del apagón analógico el 31 de Diciembre de 2016, cuya finalización estaba prevista para el 31 de diciembre de 2018 [2].

De acuerdo con el boletín estadístico del Sector de Telecomunicaciones publicado el mes de marzo de 2015, Ecuador contaba con 28 estaciones registradas, en provincias como: Ambato, Quito, Cuenca, Guayaquil, Latacunga, Manta y Santo Domingo [1]. Sin embargo, en un informe publicado en marzo de 2025 con fecha de corte en el mes de febrero, se da a conocer el número de estaciones concesionadas de TDT en el país, existiendo únicamente 15 estaciones, mismas que están funcionando en las siguientes provincias: 5 estaciones del sector privado y 1 estación del sector público en la provincia del Guayas, 1 estación del sector público en la provincia Azuay, 1 estación del sector privado en la provincia de Manabí, 6 estaciones del sector privado y 1 del sector público en la provincia de Pichincha [3].

Por su parte, la tecnología de IPTV ha sido una de las que mayor aumento ha tenido con respecto a usuarios dentro del país, debido a que transforma la televisión tradicional ofreciendo una experiencia personalizada a cada usuario, esta tecnología resulta de la unión de dos servicios de telecomunicaciones como son: el Internet (incluye computación, redes

de internet, servidores, etc), y la Televisión (Programas y canales). En los últimos años el aumento de usuarios con acceso a internet fijo ha ido en aumento, de acuerdo al informe estadístico de Agosto de 2024 publicado por la Agencia de Regulación de Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), un total de 2.999.878 personas tienen acceso a internet fijo [4]. Mientras que según el informe estadístico de febrero de 2025 publicado por la ARCOTEL un total de 3.126.897 personas tienen acceso a internet fijo.

Es importante mencionar que, a diferencia de la TDT, la tecnología IPTV no está regulada dentro del Ecuador por lo que las compañías que han implementado este tipo de servicio en el Ecuador han optado por basarse en las leyes internacionales, de ciudades y países que han logrado implementar esta tecnología con éxito como es el caso de Medellín en Colombia. Sin embargo, a pesar de estas adversidades, en Ecuador existen empresas proveedoras de IPTV tales como: IPTV Cable Ecuador, IPTV TotalPlayer, IPTV Premium Ecuador, entre otros [5].

Otra tecnología cuya adopción ha incrementado significativamente en los últimos años ha sido la OTT, misma que permite la transmisión de contenido audiovisual en distintos dispositivos tecnológicos como: Smartphones, Tablet, Televisores, etc. Además de poder acceder al mismo contenido en cualquier parte del mundo, siempre y cuando tengan conexión a Internet ya sea internet fijo o móvil.

Al igual que el internet fijo, el internet móvil ha crecido en los últimos años. De acuerdo al informe estadístico de agosto de 2024 publicado por la ARCOTEL un total de 11.496.167 personas tienen acceso a internet móvil [4]. Mientras que según el informe estadístico de febrero de 2025 publicado por la misma agencia un total de 11.735.126 personas tienen acceso a internet móvil [6]. Además, resalta que a febrero de 2025, las provincias con mayor número de suscriptores son Guayas con el 28.35% y Pichincha con el 27.69% el resto del país cubre el 43.96% [6].

Al igual que IPTV, la tecnología OTT no está regulada dentro del Ecuador pues las empresas proveedoras no tienen infraestructura física dentro del Ecuador, a pesar de esto existen empresas extranjeras que prestan este servicio en el país, tales como: Netflix, Amazon Prime Video, Disney+, HBO Max, entre otros.

El presente trabajo de investigación se encuentra organizado de la siguiente manera.

Capítulo 1: Se define el un marco introductorio del desarrollo tecnológico de los sistemas de TDT, IPTV y servicios OTT en el Ecuador, enfocándose particularmente en la provincia de Pichincha. Presenta además el planteamiento del problema, los antecedentes nacionales e

internacionales, la justificación, los objetivos, la delimitación del área de estudio y formula la hipótesis de investigación.

Capítulo 2: Se expone el sustento teórico que respalda el estudio, aborda las características técnicas, operativas y normativas de los sistemas TDT, IPTV y OTT. Se especifica las bases de la infraestructura, la cobertura geográfica, el marco regulatorio aplicable y los estudios desarrollados, además de una comparativa entre las diferentes tecnologías.

Capítulo 3: Se describe el enfoque metodológico para el desarrollo de la investigación, en donde se han combinado métodos cuantitativos y cualitativos. Se detallan las técnicas de recolección de datos, las técnicas de análisis de datos, y las variables a utilizar.

Capítulo 4: Se presenta los resultados obtenidos tras la aplicación de las simulaciones y la recolección de datos. Se muestran mapas de cobertura, análisis de la calidad de los servicios, zonas de brechas y el contraste de los resultados con los objetivos planteados.

Capítulo 5: Se dan a conocer las conclusiones alcanzadas a partir de los resultados, y se plantean recomendaciones técnicas enfocadas a mejorar la cobertura y accesibilidad de los servicios de TDT, IPTV y OTT en la provincia de Pichincha.

1.1 Descripción del problema

El proceso de modernización de los servicios audiovisuales en Ecuador incorpora tecnologías como TDT, IPTV, y OTT. Estas tecnologías ofrecen mejor calidad, mayor interactividad, además de que amplían el acceso a contenidos en el país, No obstante, la implementación dentro del Ecuador ha tenido desafíos técnicos y regulatorios relacionados con la infraestructura tecnológica, la cobertura geográfica, la regulación normativa y el acceso equitativo entre zonas urbana y rurales.

La TDT, adoptaba oficialmente con el estándar ISDB-Tb en 2010, debía consolidarse a nivel nacional antes del apagón analógico previsto en inicialmente en 2016 y posteriormente en 2018 [2]. Sin embargo, según el informe estadístico publicado por la ARCOTEL en 2025 solo existen 15 estaciones concesionadas funcionando en todo el país. En la provincia de Pichincha operan 7 estaciones (6 del sector privado y 1 del sector público) [3], esto limita la cobertura en sectores urbanos y rurales. Lo cual evidencia un rezago con respecto al plan inicial de la implementación de TDT en el país.

En cuanto a IPTV si bien este ha mostrado un crecimiento sostenido debido al aumento del acceso a internet, su expansión se ha dado más en zonas urbanas, la falta de regulación dentro del país y la limitada presencia de operadores certificados, así como la dependencia de redes de alta velocidad restringen su alcen a zonas rurales.

Por su parte, las plataformas OTT han experimentado una fuerte penetración gracias al uso masivo de dispositivos móviles e inteligentes y el crecimiento del Internet móvil. No obstante, su efectividad sigue condicionada a la estabilidad y velocidad de la conexión, lo que genera desigualdad entre áreas urbanas y rurales de Pichincha, Además, la escasa regulación ha permitido la proliferación de servicios informales o piratas, afectando al desarrollo de un ecosistema seguro.

De acuerdo con información del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se proyecta que la población ecuatoriana alcanzará los 17.9 millones de habitantes para finales del año 2024 [7]. Por otro lado, el informe sobre el Estado Digital en Ecuador, elaborado por la empresa MENTINNO, indica que el 77.2% de esta población utiliza servicios de internet, lo que evidencia un incremento significativo en el acceso digital. En el caso particular de la provincia de Pichincha, MENTINNO estima que en abril de 2023 existían aproximadamente 3.200.000 usuarios con acceso a internet, y que esta cifra podría aumentar a 4.440.000 usuarios para agosto de 2024 [8].

1.2 Hipótesis y Objetivos

1.2.1 Hipótesis

La infraestructura de TDT, IPTV y OTT presenta limitaciones técnicas y regulatorias que generan desigualdades en la cobertura geográfica, las cuales pueden ser caracterizadas mediante simulaciones técnicas para proponer soluciones de mejora.

1.2.2 Objetivo General

Analizar la infraestructura y cobertura de los sistemas de Televisión Digital Terrestre (TDT), Televisión por Protocolo de Internet (IPTV) y Over-The-Top (OTT) en la provincia de Pichincha.

1.2.3 Objetivos Específicos

- Examinar el estado actual de la infraestructura utilizada para la transmisión de TDT, IPTV y OTT en la provincia de Pichincha, diferenciando entre áreas urbanas y rurales.
- Identificar brechas de cobertura y calidad en los sistemas TDT, IPTV y OTT en la provincia, mediante análisis de datos estadísticos y simulaciones técnicas.
- Proponer estrategias basadas en simulaciones para mejorar la cobertura geográfica de TDT, IPTV y OTT.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos de las tecnologías TDT, IPTV y OTT

2.1.1 Televisión Digital Terrestre (TDT)

La TDT es la evolución de la televisión analógica, esta tecnología es más eficiente, brinda mejor calidad de imagen y usa de mejor manera el espectro radioeléctrico, mientras que una señal analógica utiliza un canal de 6 o 8 MHz para transmitir una programación, la TDT puede transmitir hasta cuatro programas en el mismo canal con calidad SD. A nivel internacional existen los siguientes estándares: ATSC, ISDB-T, DTMB, DVB-T y SBTVD [9].

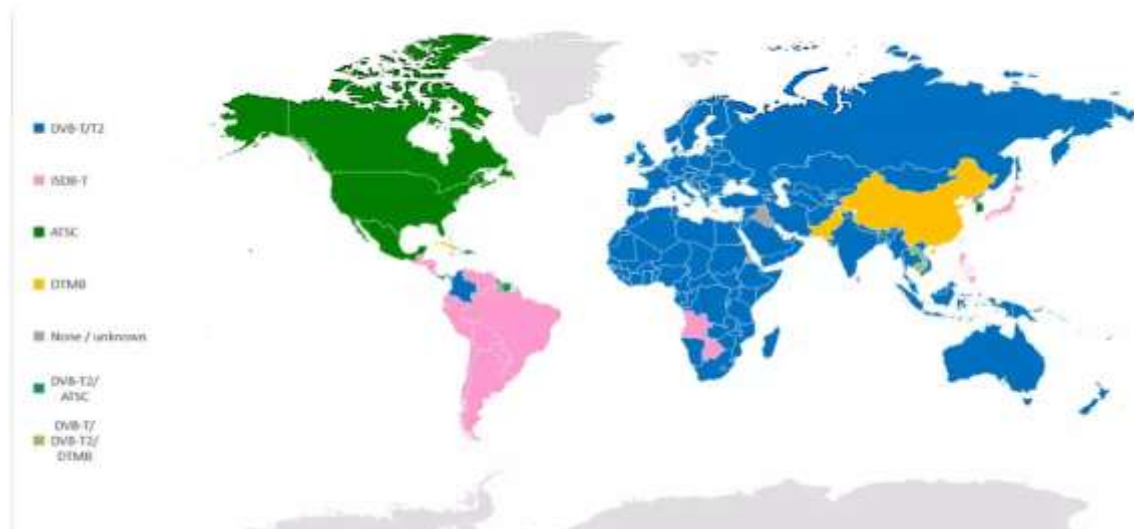


Figura 1: Estándares TDT por países [10]

Como se observa en la Figura 1, los distintos países han adoptado diferentes estándares de TDT según sus propias necesidades tecnológicas y regulatorias. Como se muestra en la figura el mapa emplea una codificación por colores para identificar cada estándar utilizado en los distintos países. El color azul representa el estándar DVB-T/T2 adoptado por gran parte de Europa, África, Medio Oriente y Oceanía. El color rosado representa el estándar ISDB-T utilizado principalmente en América Latina y Japón debido a sus ventajas en eficiencia espectral y robustez frente a interferencias. El color verde identifica a las regiones donde se implementó el estándar ATSC principalmente América del Norte. El color amarillo que representa el estándar DTMB adoptado por China. Finalmente, el color gris indica países donde el estándar no está definido.

Estándar europeo DVB-T

Fue desarrollado por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI), estableciendo las regulaciones técnicas para la transmisión digital mediante una estructura definida para la codificación, la modulación y a organización de datos desde la salida del codificador MPEG hasta la radiodifusión [11].

El estándar DVB-T procesa la señal a través de cuatro etapas: el procesamiento de la señal de entrada, la intercalación de bits, codificación y modulación de la señal (BICM), estructuración de tramas y la generación final de la señal OFDM [9].

Este estándar comprime el video y audio mediante el formato MPEG, y transmite la señal empleando COFDM utilizando modulaciones como: QPSK, 16 QAM o 64 QAM. El estándar define cinco define cinco tasas para el control de error Forward Error Corrección FEC y cuatro opciones de intervalos de guarda (1/32, 1/16, 1/8 y 1/4) que operan en anchos de banda de 6,7 y 8 MHz [11].

Estándar europeo de segunda generación DVB-T2

La segunda generación del estándar DVT-T introduce características técnicas adicionales a las DVB-T, como: modulación 256 QAM, esquema de corrección de error Low Density Parity Check (LDPC) y BCH, además de agregar otros tres intervalos de guardado adicionales 19/218, 19/256 y 1/128, también agrega más modos de transmisión en OFDM como 1K, 2K, 4K, 8K, 16K y 32K y anchos de banda de 1.7, 5, 6, 7, 8 y 10 MHz [12]

Estándar estadounidense ATSC

El estándar ATSC se desarrolló para reemplazar al antiguo sistema analógico NTSC, este estándar define especificaciones técnicas que permiten la transmisión en un ancho de banda de 6 MHz, además de garantizar la calidad de audio y video [13].

Este cuenta con tres etapas principales que son: la codificación y compresión (de audio, video y datos), transporte y multiplexación de señales y por último la modulación y transmisión de la señal [13].

Para la codificación de video, el sistema utiliza el estándar MPEG-2, la cual permite la transmisión de contenido en alta definición. Para la codificación de audio utiliza el sistema Dolby Digital AC-3, este proporciona sonido envolvente tipo cinematográfico. En el proceso de transporte y multiplexación la información se organiza en paquetes de 188 bytes, conformando flujos de transporte TS que son compatibles con MPEG-2. Esto facilita la gestión y trasmisión simultanea permitiendo una tasa de transferencia efectiva de 19.39 Mbps, suficiente para una señal HDTV o varios canales de SDTV. Para la modulación se emplea la técnica de 8-VSB que consiste en una modulación en amplitud con ocho niveles, presentando una alta eficiencia espectral y robustez [13].

Estándar japonés ISDB-T

EL estándar ISDB-T es uno de los estándares más robustos el cual permite transmitir audio, video, datos y textos. ISDB-T realiza un proceso en el cual las tramas generadas por los multiplexores son integradas en un solo flujo de transporte (TS). Después es sometido a varias etapas de codificación, incluyendo técnicas de entrelazado temporal (interleaving), para luego ser enviada mediante OFDM, esto permite una transmisión más robusta y estable [9]. El estándar ISTB se caracteriza por tener 13 segmentos OFDM, los mismos que ocupan 1/4 del ancho de banda total asignado, permitiendo la implementación de transmisión jerárquica, en la cual se puede asignar servicios como, televisión fija, móvil, entre otros [14]. Debido a esto es posible realizar hasta tres transmisiones jerárquicas diferentes.

ISDB-T presenta tres modos de operación diseñados para dispositivos móviles mediante tres espaciamientos diferentes en las subportadoras de OFDM: para el modo 1 se utiliza 4 kHz, para el modo 2 se utiliza 2 kHz y para el modo 3 se utiliza 1 kHz [9].

Estándar brasileño SBTVD

Desarrollado a partir del estándar ISDB-T, se diferencia del estándar japonés por que el estándar brasileño hace uso de tecnologías de compresión de audio y video más modernas, incorpora un middleware desarrollado en Brasil e implementa mecanismos de protección de contenido.

	Sistema Americano ATSC			Sistema Europeo DVB-T			Sistema Japonés ISDB-T			Sistema Brasileño SDBV o ISDB-Tb		
Transmisión	Una portadora			Portadoras Múltiples								
Ancho de Banda Para el que fue Diseñado	6 MHz			8 MHz			6,7,8 MHz			6 MHz		
Ancho de banda utilizado	6 MHz	5.38 MHz (-3 dB)		6 MHz	5.71 MHz		6 MHz	Modo 1	5.575 MHz	6 MHz	Modo 1	5.575 MHz
								Modo 2	5.573 MHz		Modo 2	5.573 MHz
								Modo 3	5.572 MHz		Modo 3	5.572 MHz
	7 MHz	6.00 MHz (-3 dB)		7 MHz	6.66 MHz		7 MHz	Modo 1	6.504 MHz	7 MHz	Modo 1	.....
								Modo 2	6.502 MHz		Modo 2	.....
								Modo 3	6.501 MHz		Modo 3	.....
	8 MHz	7.00 MHz (-3 dB)		8 MHz	7.61 MHz		8 MHz	Modo 1	7.434 MHz	8 MHz	Modo 1	.....
								Modo 2	7.431 MHz		Modo 2	.....
								Modo 3	7.430 MHz		Modo 3	.....
Tipo de Modulación	8T-VSB			QPSK, 16-QAM, 64-QAM			DQPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM			DQPSK, 16-QAM, 64-QAM		
	6 MHz	4.23-19.39	Dependiendo de la	6 MHz	3.69-23.5	Dependiendo de la	6 MHz	3.65-23.2	Dependiendo de la	6 MHz	3.65-23.2	Dependiendo de la

Flujo Binario Neto de Datos (Mbps)	7 MHz	4.72-21.62	Velocidad del Código de Modulación.	7 MHz	4.65-27.71	Modulación, Velocidad de Código y del Intervalo de Guarda, para Modos no Jerárquicos.	7 MHz	4.26-27.1	Modulación, Velocidad de Código, de la Estructura Jerárquica y del Intervalo de Guarda.	7 MHz	Modulación, Velocidad de Código, de la Estructura Jerárquica y del Intervalo de Guarda.
	8 MHz	5.99-27.48		8 MHz	4.98-31.67		8 MHz	4.87-31.0		8 MHz	..... ..
Duración Símbolo Activo	6 MHz	92.9 ns	6 MHz	Modo 2K	298.67 μs	6 MHz	Modo 1	252 μs	6 MHz	Modo 1	252 μs	
				Modo 4K	597.33 μs		Modo 2	502 μs		Modo 2	504 μs	
				Modo 8K	1194.67 μs		Modo 3	1008 μs		Modo 3	1008 μs	
	7 MHz	83.3 ns	7 MHz	Modo 2K	256 μs	7 MHz	Modo 1	216 μs	7 MHz	Modo 1	..... .
				Modo 4K	512 μs		Modo 2	432 μs		Modo 2	..... .
				Modo 8K	1024 μs		Modo 3	864 μs		Modo 3	..... .

	8 MHz	71.4 ns	8 MHz	Modo 2K	224 μ s	8 MHz	Modo 1	189 μ s	8 MHz	Modo 1	.....
											Modo 2
				Modo 4K	448 μ s		Modo 2	378 μ s		Modo 3	.....
				Modo 8K	896 μ s		Modo 3	756 μ s		Modo 3	.....

Tabla 1. Comparación técnica de los estándares [13]

Sistema Americano ATSC		Sistema Europeo DVB-T			Sistema Japonés ISDB-T			Sistema Brasileño SDBV o ISDB-Tb		
6 MHz	77.3	6 MHz	Intervalo de Guarda 1/32	308, 616, 1232 (2K 4K 8K)	6 MHz	Intervalo de Guarda 1/32	259.87, 517.75, 1039.5 Modos 1, 2, 3	Intervalo de Guarda 1/32	53014.5 MODO 1	
			Intervalo de Guarda 1/16	317.33, 634.67, 1269.33 (2K 4K 8K)			267.75, 533.5, 1071 Modos 1, 2, 3			106029 MODO 2

Duración Total de Símbolo o Segmento (μs)				Intervalo de Guarda 1/8	336, 672, 1344 (2K 4K 8K)		Intervalo de Guarda 1/8	283.5, 565, 1134 Modo1, Modo2, Modo3	6 MHz	Intervalo de Guarda 1/16	212058 MODO 3
				Intervalo de Guarda 1/4	373.33, 746.67, 1493.33 (2K 4K 8K)		Intervalo de Guarda 1/4	315, 628, 1260 Modo1, Modo2, Modo3			54621 MODO 1
	7 MHz	63.3	7 MHz	Intervalo de Guarda 1/32	264, 528, 1048 (2K 4K 8K)	7 MHz	Intervalo de Guarda 1/32	222.75, 445.5, 891 Modo1, Modo2, Modo3		109242 MODO 2	
				Intervalo de Guarda 1/16	272, 544, 1088 (2K 4K 8K)		Intervalo de Guarda 1/16	229.5, 459, 918 Modo1, Modo2, Modo3		218484 MODO3	

				Intervalo de Guarda 1/8	288, 576, 1152 (2K 4K 8K)		Intervalo de Guarda 1/8	243, 486, 972 Modo1, Modo2, Modo3		Intervalo de Guarda 1/8	57384 MODO 1
				Intervalo de Guarda 1/4	320, 640, 1280 (2K 4K 8K)		Intervalo de Guarda 1/4	270, 540, 1080 Modo1, Modo2, Modo3			115668 MODO 2
	8 MHz	59.4	8 MHz	Intervalo de Guarda 1/32	231, 462, 924 (2K 4K 8K)	8 MHz	Intervalo de Guarda 1/32	194.90, 389.81, 779.62 Modo1, Modo2, Modo3			231336 MODO 3
				Intervalo de Guarda 1/16	238, 476, 952 (2K 4K 8K)		Intervalo de Guarda 1/16	200.81, 401.62, 803.25		Intervalo de Guarda 1/8	64260 MODO 1

								Modo1, Modo2, Modo3			
				Interva lo de Guarda 1/8	252, 504, 1008 (2K 4K 8K)			Interva lo de Guarda 1/8	212.62, 425.25, 850.5 Modo1, Modo2, Modo3		128520 MODO 2
				Interva lo de Guarda 1/4	280, 560, 1120 (2K 4K 8K)			Interva lo de Guarda 1/4	237.25, 472.5, 945 Modo1, Modo2, Modo3		257040 MODO 3

Tabla 2. Comparación técnica de los estándares[13]

	Sistema Americano ATSC		Sistema Europeo DVB-T		Sistema Japonés ISDB-T		Sistema Brasileño SDBV o ISDB-Tb	
	6 MHz	48.4 ms	6 MHz		6 MHz	204 símbolos OFDM	6 MHz	204 Símbolos OFDM

Duración de Trama de transmisión	7 MHz	43.4 ms	7 MHz	68 símbolos OFDM, una Super-trama Consta de 4 Tramas.	7 MHz		7 MHz	.....
	8 MHz	37.2 ms	8 MHz		8 MHz		8 MHz	.....
Codificación externa Red Solomon	6 MHz	R-S (207, 187, T=10)	6 MHz	R-S (204, 188, T=8)	6 MHz	R-S (204, 188, T=8)	6 MHz	R-S (204, 188, T=8)
	7 MHz	R-S (207, 187, T=10)	7 MHz		7 MHz		7 MHz	.....
	8 MHz	R-S (207, 187, T=10)	8 MHz		8 MHz		8 MHz	.....
Intercalador Externo	6 MHz	Byte Convolutacional de 52 Bloques R-S Intercalados, Byte Concatenado de 46 Bloques Entrelazados.	6 MHz	Entrelazado Convolutacional por Bytes l = 12 Bloques.	6 MHz	Entrelazado Convolutacional por Bytes l = 12 Bloques.	6 MHz	4 palabras Código LDPC Para QPSK, 8 Palabras Código LDPC Para 16-QAM y 12 Palabras Código LDPC Para 64-QAM.
	7 MHz		7 MHz		7 MHz		7 MHz	
	8 MHz		8 MHz		8 MHz		8 MHz	
Codificación Interna	6 MHz	Trellis R=2/3 Reticular Concatenado.	6 MHz	Convolutacional Perforado 1/2 de Velocidad Matriz con 64 Estados. Perforación	6 MHz	Convolutacional Perforado 1/2 de Velocidad Matriz con 64 Estados.	6 MHz	LDPC (Low Density Parity Code) N=9792 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8.
	7 MHz		7 MHz		7 MHz		7 MHz	

	8 MHz		8 MHz	a 2/3, 3/4, 7/8 de Velocidad.	8 MHz	Perforación a 2/3, 3/4, 7/8 de Velocidad.	8 MHz	
Intercalados Interno	6 MHz	Intercalador Trellis 12 A1	6 MHz	Intercalación de Bits y de Frecuencia.	6 MHz	Intercalación de Bits, Frecuencia Y Tiempo Selectivo.	6 MHz	Intercalación de Bits, Frecuencia Y Tiempo Selectivo
	7 MHz	Intercalador Trellis 24 A1	7 MHz		7 MHz		7 MHz	
	8 MHz	Intercalador Trellis 28 A1	8 MHz		8 MHz		8 MHz	
Relación Portadora/Ruido en un Canal de Ruido Gaussiano Blanco Aditivo (AWGN)	6 MHz	15.19 dB, 9.2 dB, Y 6.2 dB Dependiendo del Código del Canal.	6 MHz	3.1 - 20.1 DB Depende de la Modulación y del Código del Canal.	6 MHz	35.0 - 23 dB Depende de la Modulación y del Código del Canal.	6 MHz
	7 MHz		7 MHz		7 MHz		7 MHz	
	8 MHz		8 MHz		8 MHz		8 MHz	
Randomización de Datos/Dispersión de Energía	6 MHz	16 Bits PRBS	6 MHz	16 Bits PRBS	6 MHz	16 Bits PRBS	6 MHz	16 Bits PRBS
	7 MHz		7 MHz		7 MHz		7 MHz	
	8 MHz		8 MHz		8 MHz		8 MHz	

Tabla 3. Comparación técnica de los estándares [13]

	Sistema Americano ATSC		Sistema Europeo DVB-T			Sistema Japonés ISDB-T			Sistema Brasileño SDBV o ISDB-Tb			
Número de Portadoras	6 MHz	1	6 MHz	Modo 2K	1705	6 MHz	Modo 2K	1405	6 MHz	Modo 2K	1405	
				Modo 4K	3409		Modo 4K	2809		Modo 4K	2809	
				Modo 8K	6817		Modo 8K	5617		Modo 8K	5617	
	7 MHz		7 MHz	7 MHz	Modo 2K	1705	7 MHz	Modo 2K	1405	7 MHz	Modo 2K	.....
					Modo 4K	3409		Modo 4K	2809		Modo 4K	.....
					Modo 8K	6817		Modo 8K	5617		Modo 8K	.....
	8 MHz		8 MHz	8 MHz	Modo 2K	1705	8 MHz	Modo 2K	1405	8 MHz	Modo 2K	.....
					Modo 4K	3409		Modo 4K	2809		Modo 4K	.....
					Modo 8K	6817		Modo 8K	5617		Modo 8K	.....
Flujo de Transporte	6 MHz	MPEG-2	6 MHz	MPEG-2	6 MHz	MPEG-2	6 MHz	MPEG-2	6 MHz	MPEG-2		
	7 MHz		7 MHz		7 MHz		7 MHz					
	8 MHz		8 MHz		8 MHz		8 MHz					
Compresión de Video	MPEG-2		MPEG-2			MPEG-2			MPEG-4 – H.264			

Compresión de Audio	DOLBY AC-3	MPEG-1, CAPA II	MPEG-2 AAC	HE - AAC
Soporta HDTV	Si	Si	Si	Si
Soporta SDTV	Si	Si	Si	Si
Recepción Móvil	En Desarrollo	Con DVB-H	Alta	Alta
Servicios Multimedia	Si	Si	Si	Si
Inmunidad a la Distorsión por Rebotes	Baja	Alta	Muy Alta	Muy Alta
Eficiencia en el Espectro	Alta	Media	Media	Muy Alta
Interferencia sobre las Tx Analógicas	Baja	Media	Media	Media
Inmunidad a los Ruidos de Impulsos Eléctricos	Alta	Media	Alta	Alta

Inmunidad a las Interferencias por Tono	Baja	Alta	Alta	Alta
Estructura de la Red	MFN	MFN y SFN	MFN y SFN	MFN y SFN

Tabla 4. Comparación técnica de los estándares[13].

La comparación técnica de los estándares de TDT mostrados en la Tabla 4 permiten identificar diferencias en eficiencia espectral, robustez frente a interferencias y capacidad de transmisión de datos. Estas características influyen en la cobertura de los sistemas de radiodifusión digital. En el caso de Ecuador la adopción del estándar ISDB-Tb se debe a su gran robustez frente a interferencias y su capacidad de transmisión jerárquica, lo cual resulta especialmente relevante en territorios con topografía irregular como lo es la provincia de Pichincha.

2.1.2 Televisión por Protocolo de Internet (IPTV)

IPTV es una tecnología desarrollada para la distribución de señales digitales de audio y video a través de redes de internet, permitiendo la visualización en tiempo real sin requerir descargas de archivos multimedia. Esta tecnología se basó en la transmisión de flujo (Streaming), lo que permite visualizar el contenido en distintos dispositivos como computadoras y televisores, siempre que estén conectados a una red IP proporcionada por un operador [15].

Dentro de los servicios y aplicaciones que presta IPTV tenemos [16]:

Triple Play: Consiste en brindar servicios de voz, Internet y televisión por parte de un mismo operador.

Televisión Móvil: Permite descargar y guardar el contenido ya sea en tiempo real o no.

Grabador de Video Personal (PVR): cuenta con un software para el control y configuración de contenidos.

Video Sobre Demanda (VoD): El flujo de información está dirigido a un usuario en específico, por lo que cada usuario tiene una programación personalizada.

Pago Por Ver: es el plan base de la IPTV se paga por un plan en común y la transmisión es de forma simultánea.

Juegos: debido al crecimiento de esta tecnología ha sido posible el implementar juegos para televisión.

La red de transporte debe garantizar la calidad de servicio y su esquema más utilizado es Triple Play (voz, datos y video). IPTV ofrece el servicio bajo dos modalidades que son:

Broadcast TV (BTV): corresponde a una transmisión en modo multidifusión (multicast), lo que permite que un solo flujo de video sea enviado a varios usuarios dentro del mismo nodo, para esto utilizan protocolos como Protocol Independent Multicast Sparse Mode (PIM-SM) y Internet Group Management Protocol (IGMP Snooping). Estos se utilizan tanto en nodos de accesos como NAM y DSLAM, así como en la red troncal.

Video on Demand (VoD): esta modalidad utiliza un esquema de unidifusión (unicast), pues debe garantizar la satisfacción del usuario.



Figura 2. Tecnología IPTV para un edificio [17].

La Figura 2, muestra un esquema de la implementación de la tecnología IPTV dentro de un edificio, donde se observa la distribución de contenido desde el proveedor de servicio hacia los usuarios finales mediante una red IP. En este modelo, permite la entrega de servicios como televisión en vivo, video bajo demanda y contenido interactivo a múltiples dispositivos dentro de la red del edificio.

Formatos de compresión de video

Entre los formatos más utilizados para la compresión de videos son [16]:

MPEG-2

Primer estándar aplicado en televisión digital y de alta definición. Está diseñada para operar con velocidades de transmisión entre 2 y 100 Mbps, lo que permitía imágenes de alta calidad.

MPEG-4

Este estándar tiene mejoras que el estándar MPEG-4 pues proporciona mejor calidad de imagen y ocupa menos ancho de banda. Además, es compatible con dispositivos móviles y redes 3G.

H.263

Es un formato creado principalmente para videoconferencia y videotelefonía, este se caracteriza por tener calidad audiovisual con bajo ancho de banda además de ser compatible con MPEG-4.

H.264/MPEG-4 V10

Este formato fue estandarizado por la ITU-T en 2008 debido a que logra una alta compresión junto con una gran calidad de imagen, utilizando la mitad de los recursos que el formato MPEG-2 esto permite la integración de diversos protocolos. Por lo que se ha vuelto el formato referencia para servicios como VoD y transmisiones HDTV por su eficiencia.

Tabla comparativa entre estándares de compresión de video de IPTV

Estándar/Código	Eficiencia de compresión	Uso de ancho de banda	Compatibilidad y soporte	Soporte HD/4K	Adopción / Comentarios
MPEG-2	Baja	Muy alto	Equipos antiguos (DVD, DVB, STB)	HD (con mucho bitrate); no 4K	Uso en declive
H.264 (AVC)	Alta (~50% mejor que MPEG-2)	Moderado (~25 Mbps para 4K)	Universal (PCs, móviles, TVs)	HD/4K soportado	Muy adoptado; base del streaming actual
H.265 (HEVC)	Muy alta (~50% mejor que H.264)	Bajo (~12 Mbps para 4K)	Dispositivos recientes (4K TV, móviles)	HD/4K con eficiencia y HDR	Adoptado en 4K y broadcast
VP9	Alta (similar a HEVC)	Bajo	YouTube, navegadores; menos en TV	HD/4K y HDR	Uso en web; limitado hardware
AV1	Muy alta (~30% mejor que HEVC)	Muy bajo (~8 Mbps para 4K)	Navegadores modernos, OTT	Diseñado para HD/4K/8K	En crecimiento, aún limitado en hardware
VVC (H.266)	Muy alta (~50% mejor que HEVC)	Muy bajo	Soporte inicial en software	4K/8K y HDR extremo	Experimental, proyección a futuro

Tabla 5. Comparación técnica de los estándares

Protocolos de transmisión

IPTV utiliza varios protocolos estandarizados para la transmisión y sincronización del contenido, entre los principales tenemos:

UDP

Es un protocolo de transporte no orientado a conexión definido en la RFC768, utilizada para transmisión de contenido audiovisual en tiempo real, debido a su rapidez y baja latencia.

RTP

Definido en la RFC3550, este estándar es usado para transmitir flujos multimedia en tiempo real ya que proporciona marcas temporales y numeración de secuencia para mantener la sincronización.

RTCP

Definido en la RFC3605, es el complemento de RTP, encargado de enviar paquetes de control a todos los participantes dentro de una sesión lo que permite supervisar la calidad de servicio (QoS):

SDP

Definido en la RFC2327, permite informar a los usuarios de una sesión sobre los parámetros de transmisión como códecs usados, puertos, protocolos, duración, entre otros, además de ser esencial para establecer la conexión.

RTSP

Definido en la RFC2326, este protocolo es encargado de controlar la transmisión, permitiendo al usuario interactuar con el flujo de video (pausar, adelantar, retroceder), permitiendo el manejo del contenido.

IGMP

Es un protocolo esencial para la transmisión multicast, permitiendo declarar a los dispositivos su pertenencia a un grupo y que un solo flujo de video sea enviado a múltiples usuarios.

Tabla comparativa entre protocolos de transmisión de IPTV

Protocolo	Latencia típica	Confiabilidad	Uso de ancho de banda	Compatibilidad IP	Facilidad implementación
RTP (UDP)	Muy baja (tiempo real)	Media	Muy eficiente	Requiere clientes RTP	Media; requiere software dedicado
RTSP (TCP/UDP)	Muy baja (~2 s)	Media	Moderado	No compatible con navegadores	Requiere servidor RTSP
HLS (HTTP)	Alta (6–30 s)	Alta	Moderado	Muy alta (dispositivos modernos)	Alta (infraestructura web)
MPEG-DASH	Alta (6–30 s)	Alta	Moderado	Alta; no iOS nativo	Alta; código abierto
SRT (UDP)	Muy baja (<2 s)	Muy alta	Ligero overhead	En crecimiento	Media; soporte open source
QUIC (HTTP/3)	Baja inicial (0-RTT)	Alta	Similar a TCP	Compatible con HTTP3	Alta; creciente adopción web
IGMP (multicast)	Muy baja	Alta	Muy eficiente (1 stream para muchos)	Solo en redes con routers multicast	Alta en LAN

Tabla 6. Comparación técnica de los protocolos de transmisión

2.1.3 Over-The-Top (OTT)

En 2018 la Unión Europea de Telecomunicaciones (UIT) definió los servicios de OTT como una aplicación a que se accede y se entrega mediante internet que puede ser un sustituto técnico/funcional directo de los servicios tradicionales de las telecomunicaciones, OTT

brinda una gran variedad de servicios como la distribución de contenido audiovisual, radio en línea, video bajo demanda, servicios de música en Streaming, entre otros [18].

Para satisfacer a los usuarios, los proveedores de OTT utilizan una combinación de varios protocolos de Streaming como: HTTP Live Streaming (HLS), MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP), Common Media Application Format (CMAF), Web Real-Time Communication (WebRTC), HTTP/2.0, HTTP/3 (QUIC), Content/Centric Networking (CCN)/ Named Data Networking (NDN), Real-Time Messaging Protocol (RTMP).

Protocolo HTTP Live Streaming o (HLS)

Es de los protocolos más usados para la transmisión en vivo debido a que es compatible con una gama amplia de dispositivos [18], [19].

Para la distribución de contenido el protocolo utiliza Hypertext Transfer Protocol (HTTP) este permite realizar una petición de datos y recursos y HTTPS para seguridad. Su arquitectura se basa en cliente-servidor. El cliente o usuario mediante un navegador Web es quien inicia la comunicación mediante una petición a un servidor el cual responde al cliente mediante los datos que ha solicitado el cliente [20].

HLS utiliza archivos en formatos .m3u8 este describe la secuencia y ubicación de los segmentos entre estos tenemos: Máster Playlist que es la lista principal y contiene múltiples versiones del mismo contenido (resoluciones, bitrates) y Media Playlist que contiene la lista que contiene los segmentos de video individuales. Además de tener una transmisión adaptativo ABR que selecciona la mejor calidad según las condiciones de la red [20], [21].

Para la compresión de video el protocolo utiliza H.264 o H265 en segmentos de duración de 6 segundos [22].

Protocolo Web Real-Time Communication (WebRTC)

Es un protocolo de código abierto este permite la transmisión de contenido en vivo entre navegadores y dispositivos web, al no depender de aplicaciones externas su latencia es menor, su arquitectura se basa en tecnología peer-to-peer. Su estructura está conformada por tres API HTML5 que: capturan, codifican y transmiten en vivo el contenido.

Cuenta con seguridad bajo los protocolos DTLS y SRTP además de solo operar sobre el protocolo HTTPS, para su óptimo funcionamiento el protocolo WebRTC necesita la utilización de códecs, estos se dividen en obligatorios y opcionales [19], [23].

Por ejemplo, para comprimir el audio utiliza códecs obligatorios como Opus y G.711 estos presentan baja latencia y carga computacional mínima y como códecs opcionales usa G.722, iLBC e iSAC estos incrementan la carga al CPU además de ser compatibles solo con algunos

navegadores. Entre los códecs de video tenemos como obligatorios VP8 y H.264 y los opcionales H.265, VP9 y AV1 [23].

Protocolo MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)

Es un método de transmisión de video, DASH es la transmisión adaptable y dinámica sobre HTTP, además de ser similar a HLS. Para la transmisión de contenido existen cuatro etapas que son codificación, segmentación, entrega, decodificación y reproducción. Para la codificación de video puede utilizar H.264/AVC, AV1 o H.265 pero al ser un protocolo independiente del códec almite cualquiera, este utiliza segmentos que pueden durar entre 2 a 10 segundos sin embargo lo recomendado es de 2 a 4 segundos [22].

Protocolo Common Media Application Format (CMAF)

Creado por Apple y Microsoft con objetivo de menorar la latencia y la fragmentación este se basa en el formato de archivo multimedia ISO que es un subconjunto del formato contenedor MP4 con subdivisiones más pequeñas ordenadas jerárquicamente [24].

Protocolo HTTP/2.0, HTTP/3 (QUIC)

HTTP/2 es la evolución de HTTP, este tenía mejoras en la multiplexación de flujo permitiendo más solicitudes al mismo tiempo, mejora la velocidad y la eficiencia en la transmisión de datos [25].

HTTP/3 (QUIC) viene a la evolución de HTTP/2, sin embargo este deja de utilizar TCP como su versiones anteriores, en cambio utiliza el protocolo QUIC desarrollado por Google para acelerar la navegación por la Web, mejorar la seguridad y la eficiencia [25].

Protocolo Content/Centric Networking (CCN)/ Named Data Networking (NDN)

Es una arquitectura enfocada a una comunicación enfocada al contenido, esto permite a los usuarios solicitar datos de manera interna sin importar donde se encuentren ubicados o quien los proporcione. Estos datos se identifican mediante nombres jerárquicos similares a las URLs, además de contar con una firma digital para garantizar su integridad y autenticación. Debido a su gran flexibilidad tiene múltiples aplicaciones como la distribución de contenido multimedia, implementación en sistemas IoT, control de iluminación inteligente, redes de sensores hasta plataformas de salud conectadas que requieren seguridad y privacidad [26].

Protocolo Real-Time Messaging Protocol (RTMP)

Es un protocolo de mensajería en tiempo real utilizado en Adobe Player, VLC Media Player, QuickTime Player, entre otros, debido a su baja latencia, tiene un almacenamiento en bufer mínimo, buena calidad además de soportar Streaming masivo de forma simultánea. Sin embargo este no cuenta con seguridad por lo que es susceptibles a ataques tipo man-in-the-middle [27].

Tabla comparativa entre protocolos de OTT

Protocolo	Tipo / Capa de Transporte	Latencia Aproximada	Ventajas Principales	Desventajas Principales	Casos de Uso Comunes
HLS (HTTP Live Streaming)	HTTP / TCP	6–30 s	Alta compatibilidad; soporta streaming adaptativo; fácil implementación	Alta latencia; no ideal para streaming en tiempo real	Transmisión de video en vivo y bajo demanda en múltiples dispositivos
MPEG-DASH	HTTP / TCP	2–10 s	Estándar abierto; agnóstico al códec; soporte para streaming adaptativo	Menor compatibilidad en dispositivos Apple; mayor complejidad en implementación	Streaming adaptativo en plataformas web y móviles
CMAF	HTTP / TCP	2–5 s	Reduce latencia; unifica empaquetado para HLS y DASH; eficiente en recursos	Requiere soporte específico en reproductores; estándar relativamente nuevo	Streaming de baja latencia en plataformas modernas
WebRTC	UDP	<1 s	Comunicación en tiempo real; peer-to-peer; sin necesidad de plugins	Complejidad en implementación; no ideal para contenido bajo demanda	Videollamadas, conferencias en línea, transmisiones en tiempo real

HTTP/2	TCP	1–3 s	Multiplexación de solicitudes; compresión de cabeceras; mejora en rendimiento web	Requiere soporte en servidor y cliente; no reduce significativamente la latencia	Mejora en la entrega de contenido web y streaming
HTTP/3 (QUIC)	UDP	<1 s	Establecimiento rápido de conexión; menor latencia; mejor manejo de pérdida de paquetes	Implementación aún en desarrollo; soporte limitado en algunos navegadores y servidores	Streaming de video en redes móviles e inestables
CCN/NDN	Arquitectura basada en contenido	Variable	Enrutamiento basado en nombres; caching en red; eficiente para multicast	Arquitectura aún en investigación; falta de estandarización y adopción generalizada	Redes de próxima generación; distribución eficiente de contenido
RTMP	TCP	3–5 s	Baja latencia; conexión persistente; ampliamente utilizado en transmisiones en vivo	Dependencia de Flash (en desuso); menor compatibilidad con dispositivos móviles modernos	Transmisiones en vivo, especialmente en plataformas heredadas o con infraestructura existente

Tabla 7. Comparación técnica de los protocolos de OTT

2.2 Infraestructura de las tecnologías TDT, IPTV y OTT

La infraestructura es parte fundamental para la distribución de contenido dentro de estas tecnologías, razón por la que este apartado se analizara la infraestructura que permite el funcionamiento y la prestación de servicios de TDT, IPTV y OTT.

2.2.1 Infraestructura de la Televisión Digital Terrestre (TDT)

Plan Nacional de la implementación de la televisión digital en el Ecuador

En junio de 2012 se publica el Informe CITST-GAE-2012-003, donde se da la primera proyección de la implementación de TDT en Ecuador, en este informe se dan los primeros requerimientos y reglamentaciones [28], más adelante actualizado a Plan Maestro de transición a la televisión digital terrestre.

Desde esa perspectiva el informe define aspectos importantes a considerar:

- **Aspectos técnicos:** para la migración a TDT se debe realizar un apagón analógico progresivo, para modernizar la infraestructura e integrar equipos adecuados para la utilización de señales digitales. Para esto las operadoras han sido divididas de acuerdo con su tamaño, cobertura e infraestructura en tres tipos: de cobertura nacional, regional y local. Aquellas operadoras con mayor cobertura necesitan de mayor cantidad de repetidoras, por lo que para la solicitud de frecuencias se debía presentar estudios técnicos conforme a la normativa vigente.
- **Requerimientos de infraestructura:** la infraestructura debe garantizar contenido de calidad y sin cortes por lo que se ha identificado el equipo necesario como son los equipos de planta (como los equipos de estudio, sistema de edición, sistema no lineal de producción, control central, control maestro y sistemas de archivos), sistema de transmisión (como los sistemas de transmisión local ISDB-T, Telepuerto satelital/Sistema de microonda para ISDB-T/Fibra óptica, Sistema eléctrico y de red, unidades móviles) y estaciones repetidoras (como los Sistemas de recepción ISDB-T satélites/ microondas/ fibra óptica, sistema radiante y transmisión ISDB-T, sistema eléctrico y de red, gap filler).
- **Requerimientos de contenidos digitales:** para el inicio de operación el operador ya deberá de contar con producciones audiovisuales digitales.

Además de contar con un análisis dentro del aspecto económico para que una operadora preste el servicio de TDT.

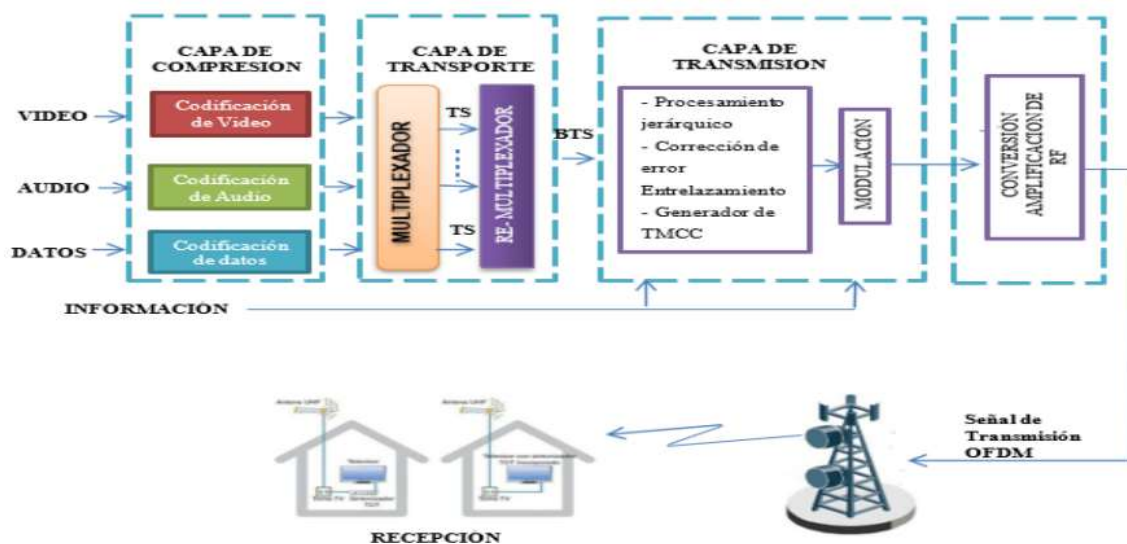


Figura 3: Esquema del sistema de transmisión de la TDT bajo estándar ISDBT-Tb [29].

En la Figura 3 se presenta el esquema general del sistema de transmisión TDT bajo el estándar ISDB-Tb, en el cual se identifican tres componentes principales; los equipos de planta encargados de la producción de contenidos, el sistema de transmisión responsables de enviar la señal hacia las estaciones repetidoras y las estaciones repetidoras que amplían la cobertura del servicio.

La infraestructura de la TDT debe de garantizar una cobertura eficiente y una calidad de señal óptima. Sus principales componentes según la Norma Técnica de Radiodifusión y Televisión son [29]:

- **Estación Transmisora:** Cuentan con un control máster y son responsables de la emisión de la señal, es el origen de las transmisiones hacia las estaciones repetidoras y auxiliares.
- **Estaciones Repetidoras:** Receptan la totalidad de la programación de la estación matriz y la retransmiten. Permitiendo extender la señal logrando cubrir mayor área.
- **Gap Fillers (Estaciones Auxiliares):** Son estaciones de menor tamaño ubicadas en zonas de sombra dentro del área de cobertura para garantizar que la señal llegue con la intensidad adecuada en lugares donde las condiciones geográficas dificultan la recepción.
- **Sistema Radiante:** Incluye el arreglo de antenas de transmitir la señal, tiene características técnicas como el patrón de radiación y la polarización, las cuales son definidas para maximizar la cobertura del área.

Frecuencias de operación

Bajo la norma técnica para el servicio de radiodifusión de televisión digital terrestre publicada por la ARCOTEL, se define las frecuencias principales para la prestación del servicio de televisión digital terrestre mostradas en la Figura 4:

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

Figura 4: Bandas de Frecuencias Principales [29]

Para la canalización las bandas de frecuencias principales se dividen en 32 canales físicos de 6 MHz de ancho de banda, la frecuencia de la portadora debe garantizar el 1/7 MHz con relación a la frecuencia central como se muestra en la Figura 5.

CANALES UHF			
CANAL FÍSICO	FRECUENCIA INICIAL	FRECUENCIA FINAL	FRECUENCIA CENTRAL
No.	(MHz)	(MHz)	(MHz)
14	470	476	473 + 1/7
15	476	482	479 + 1/7
21	512	518	515 + 1/7
22	518	524	521 + 1/7
23	524	530	527 + 1/7
24	530	536	533 + 1/7
25	536	542	539 + 1/7
26	542	548	545 + 1/7
27	548	554	551 + 1/7
28	554	560	557 + 1/7
29	560	566	563 + 1/7
30	566	572	569 + 1/7
31	572	578	575 + 1/7
32	578	584	581 + 1/7
33	584	590	587 + 1/7
34	590	596	593 + 1/7
35	596	602	599 + 1/7
36	602	608	605 + 1/7
38	614	620	617 + 1/7
39	620	626	623 + 1/7
40	626	632	629 + 1/7
41	632	638	635 + 1/7
42	638	644	641 + 1/7
43	644	650	647 + 1/7
44	650	656	653 + 1/7
45	656	662	659 + 1/7
46	662	668	665 + 1/7
47	668	674	671 + 1/7
48	674	680	677 + 1/7
49	680	686	683 + 1/7
50	686	692	689 + 1/7
51	692	698	695 + 1/7

Figura 5: Canalización de Frecuencias Principales [30].

2.2.2 Infraestructura de IPTV

Dentro del Ecuador los servicios de IPTV no tienen una normativa específica, por lo que los operadores que ofrecen este servicio deben acogerse a los requisitos generales de la infraestructura y calidad de servicio establecido por la ARCOTEL.

Dentro de los reglamentos que deben cumplir están:

- **La norma técnica para el despliegue y tendido de redes físicas aéreas y la norma para el despliegue y tendido de redes físicas soterradas:** estas normativas establecen los lineamientos técnicos para la construcción, instalación y mantenimiento de las infraestructuras de telecomunicaciones, definiendo aspectos como la ubicación de cables en los postes, distancias mínimas de seguridad, la compartición de infraestructura, la capacidad máxima de soporte en un poste o un ducto, además de lineamientos que obligan a los proveedores a cumplir con los planes de soterramiento y ordenamiento de redes cuando así lo determine el Ministerio de Telecomunicaciones (MINTEL) [31], [32], [33].
- **La norma técnica para el uso compartido de infraestructura física:** esta normativa propone el compartimiento de infraestructura física existente como postes, ductos, cámaras o soportes, propiedad de otros operadores bajo condiciones de igualdad, no discriminación y transparencia, teniendo énfasis en áreas donde la infraestructura es limitada o son densamente pobladas, como zonas urbanas o rurales [33].
- **La norma de calidad para los servicios de telecomunicaciones:** donde se especifica que los servicios deben ser continuos, da a conocer sobre los lineamientos para la atención a reclamos, además de las obligaciones de los proveedores como; la reparación de averías, los tiempos de respuesta a los clientes, la facturación correcta, entre otros [34].

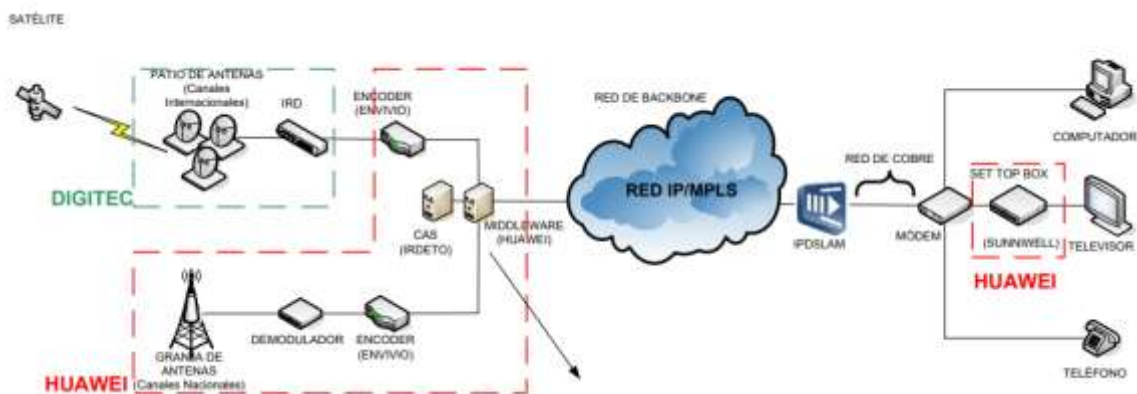


Figura 6: Diagrama de la infraestructura propuesta de IPTV [35]

Como se observa en la Figura 6, la infraestructura para la prestación del servicio de IPTV se organiza de manera estratégica permitiendo una distribución eficiente hacia los usuarios por lo que la infraestructura de internet fijo debe de garantizar una calidad de señal óptima, sus principales componentes son [35]:

- **Head End:** Es el centro de procesamiento del contenido audiovisual. En Ecuador, estas instalaciones pueden estar integradas por sistemas de recepción (antenas parabólicas, enlaces satelitales y estaciones terrestres), servidores de almacenamiento de contenido, codificadores, transcodificadores y sistemas de gestión de derechos digitales (DRM).
- **Red de Transporte:** Permite la transmisión de los contenidos desde el Head End hasta las redes de accesos, utilizan tecnologías como Multiprotocol Label Switching (IP/MPLS), lo que permite el manejo eficiente de tráfico de datos, en casos de alta demanda o largas distancias se implementan tecnologías como Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM).
- **Red de Acceso:** Es el punto de conexión final con el cliente. En Ecuador se utiliza tecnología como ADSL2+, VDSL, FTTH, Redes GPON, HFC y WIFI.
- **Equipos el Cliente:** El cliente interactúa con los servicios de IPTV a través de los dispositivos denominados Set-Top Box (STB) o aplicaciones de Smart TVs. Además de que la red doméstica puede ser cableada o inalámbrica, pero esta debe soportar las velocidades mínimas para la transmisión en alta definición.

2.2.3 Infraestructura de OTT

Al igual que IPTV dentro del territorio Ecuatoriano no existe un reglamento específico que regule los servicios de OTT, como plataformas de Streaming de video (Netflix, YouTube, Amazon Prime Video), música (Spotify, Apple Music) o mensajería (WhatsApp, Telegram) [18].

A diferencia de las anteriores tecnologías los servicios de OTT no cuentan con una red de infraestructura propia, por lo que dependen de la infraestructura física de los operadores que prestan el servicio de internet, en este sentido la regulación aplicable a la infraestructura se centra en los operadores de prestaciones de servicios aquellas regulaciones incluyen:

- **La norma técnica para el despliegue y tendido de redes físicas aéreas y la norma para el despliegue y tendido de redes físicas soterradas:** estas normativas establecen los lineamientos técnicos para la construcción, instalación y mantenimiento de las infraestructuras de telecomunicaciones, definiendo aspectos como la ubicación de cables en los postes, distancias mínimas de seguridad, la

compartición de infraestructura, la capacidad máxima de soporte en un poste o un ducto, además de lineamientos que obligan a los proveedores a cumplir con los planes de soterramiento y ordenamiento de redes cuando así lo determine el Ministerio de Telecomunicaciones (MINTEL) [31], [32], [33].

- **La norma técnica para el uso compartido de infraestructura física:** esta normativa propone el compartimiento de infraestructura física existente como postes, ductos, cámaras o soportes, propiedad de otros operadores bajo condiciones de igualdad, no discriminación y transparencia, teniendo énfasis en áreas donde la infraestructura es limitada o son densamente pobladas, como zonas urbanas o rurales [33].
- **La norma de calidad para los servicios de telecomunicaciones:** donde se especifica que los servicios deben ser continuos, da a conocer sobre los lineamientos para la atención a reclamos, además de las obligaciones de los proveedores como; la reparación de averías, los tiempos de respuesta a los clientes, la facturación correcta, entre otros [34].

Debido a que el servicio de OTT depende de la infraestructura de los operadores de servicio de cada país, dentro del Ecuador existen varias formas de acceder a internet entre ellas medios físicos o alámbricos y medios inalámbricos:

Infraestructura de Internet Fijo

En el Ecuador el internet fijo a evolucionado a través de la utilización de conexiones por fibra óptica (FTTH), implementada mediante redes Gigabitcapable Passive Optical Network (GPON), esta tecnología ha experimentado un crecimiento significativo dentro del territorio. de acuerdo al boletín de cierre del año 2023 el 80.03% de las conexiones de internet fijo presentaban esta tecnología [36].

Fiber to the Home (FTTH) es una arquitectura de red de acceso en la cual su base central es la fibra óptica que se extiende desde un ventral office hasta el cliente final, eliminando el uso del cobre. Esta tecnología transmite datos, voz y video a través de una sola infraestructura, con baja latencia y altas velocidades de transmisión [37], [38].

Existen dos arquitecturas para el despliegue de redes FTTH [38]:

- **Arquitectura centralizada:** esta arquitectura utiliza divisores ópticos llamados splitters en un punto de la red de distribución central, simplificando la gestión además de facilitar el mantenimiento y adecuado para áreas urbanas de alta densidad.

- **Arquitectura cascada:** esta arquitectura distribuye los splitters en varios niveles dentro de la red, permitiendo mayor flexibilidad en zonas rurales de baja densidad, sin embargo, necesita una planificación más compleja como ventaja optimiza el uso de fibra y reduce costos.

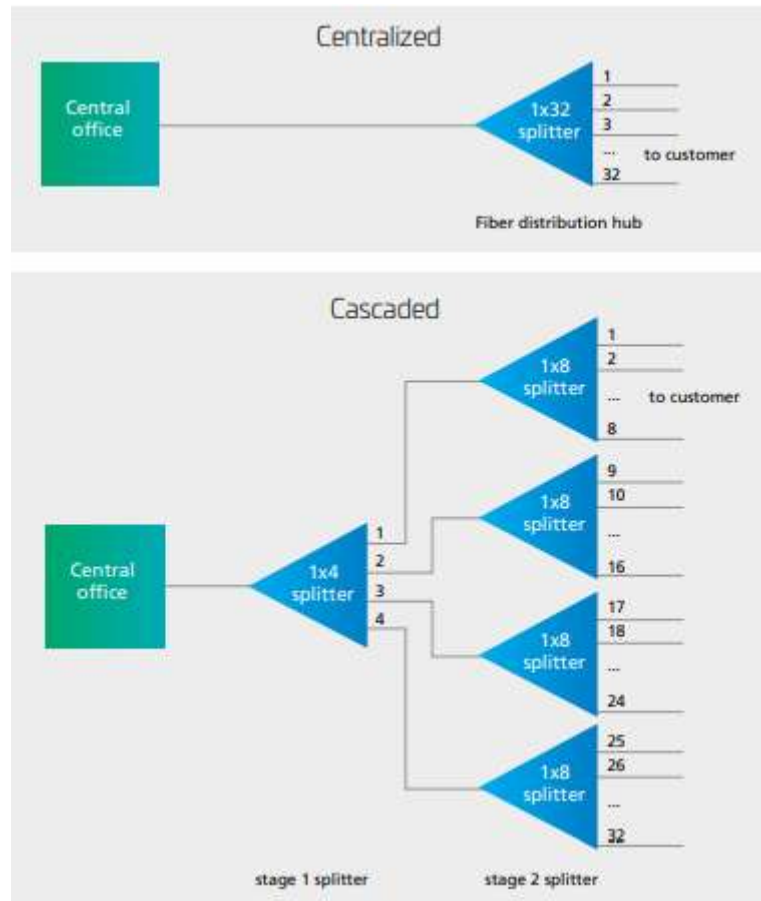


Figura 7: Comparación de arquitecturas centralizadas y en cascada [38].

Como se muestra en la Figura 7, se presenta una comparación entre las arquitecturas de distribución de contenido OTT centralizada y en cascada. En la arquitectura centralizada, todo el contenido es gestionado y distribuido desde un servidor principal hacia los usuarios finales a través de Internet, lo que simplifica la administración del sistema, aunque puede generar una mayor carga en el servidor y limitaciones en la escalabilidad cuando aumenta el número de usuarios. Por otro lado, en la arquitectura en cascada el contenido se distribuye mediante varios servidores o nodos intermedios que replican y redistribuyen la información, lo que permite optimizar el tráfico de red, mejorar la eficiencia en la entrega del contenido y ofrecer una mayor capacidad de expansión

La infraestructura de FTTH está conformada por los siguientes elementos [37], [38]:

- **Optical Line Terminal (OLT):** Dispositivo ubicado en la central, gestiona la red y conecta la capa de acceso con la red troncal.

- **Splitters ópticos:** dividen la señal óptica en múltiples ramas para distribuirlas a varios usuarios.
- **Cables de fibra óptica:** medio de transmisión
- **Optical Network Terminal/Unit (ONT/ONU):** dispositivos ubicados en el hogar del usuario que convierten señales ópticas en señales eléctricas.
- **Cajas de distribución y terminales de usuario:** permiten la gestión y conexión de la red.

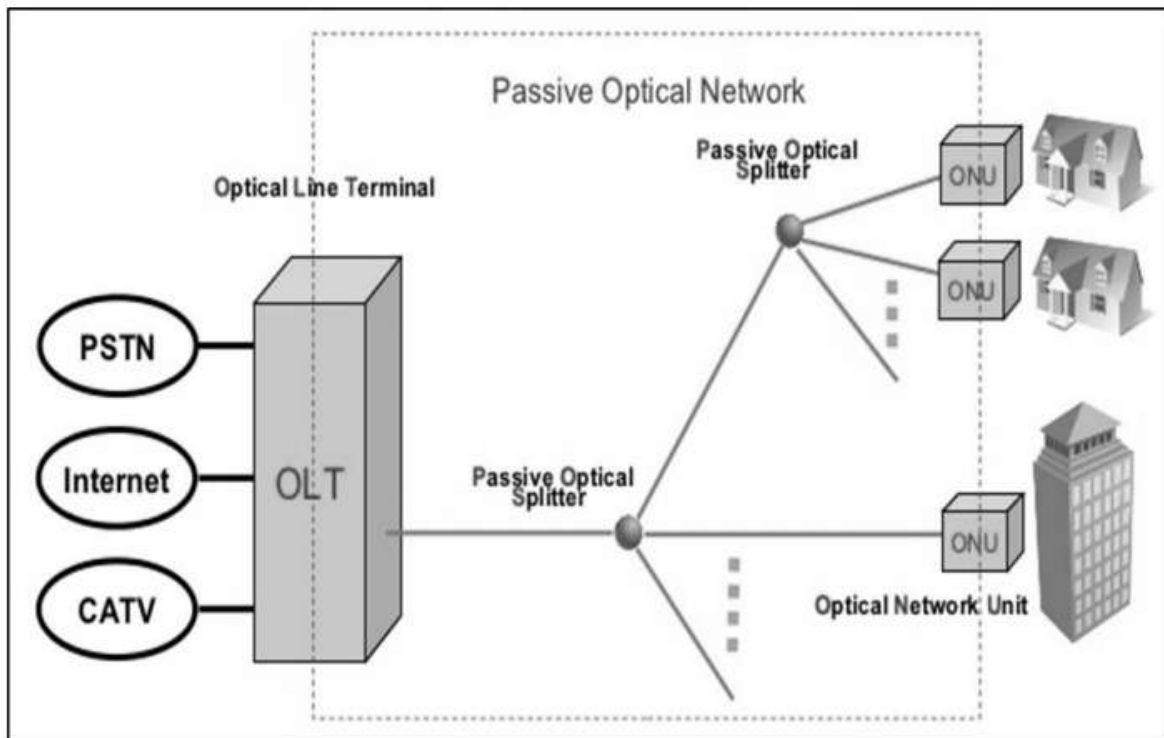


Figura 8: Infraestructura FTTH [37].

En la Figura 8, la infraestructura FTTH se basa en el uso de fibra óptica para proporcionar servicios de telecomunicaciones de alta velocidad directamente hasta el hogar del usuario. En este tipo de red, la señal se origina en la central del proveedor de servicios y se distribuye a través de una red óptica que incluye elementos como el OLT, divisores ópticos o splitters y la ONT ubicada en el domicilio del usuario

Infraestructura de Internet Móvil

Debido a que el servicio de OTT no usa infraestructura propia, se puede acceder mediante internet móvil, dentro del territorio Ecuatoriano la tecnología más utilizada son las redes Long Term Evolution (4G LTE) [39].

De acuerdo al informe de Resultados de diciembre de 2023 emitido por el MINTEL el uso de tecnologías 4G ha aumentado significativamente en 2020 apenas el 60.70% de la población la utilizaba, pero para junio de 2023 el 78.49% de la población la utilizaba [40]. La red 4G LTE en Ecuador se estructura en base a los siguientes componentes [39], [41]:

- **Equipo del usuario:** Dispositivo de usuario final que utilicen tarjeta SIM.
- **Estaciones base (eNodeB):** Infraestructura fundamental que conecta a los usuarios a la red de acceso E-UTRAN, permitiendo la transmisión de datos por radiofrecuencia.
- **Red de transporte (Backhaul):** enlaces de fibra óptica o microondas que conectan las estaciones base con el núcleo de la red.
- **Evolved packet core (EPC):** núcleo de la red 4G, compuesto por el MME, S-GW, P-GW y HSS, encargados de la gestión de la movilidad, el enrutamiento y la autenticación de usuarios.

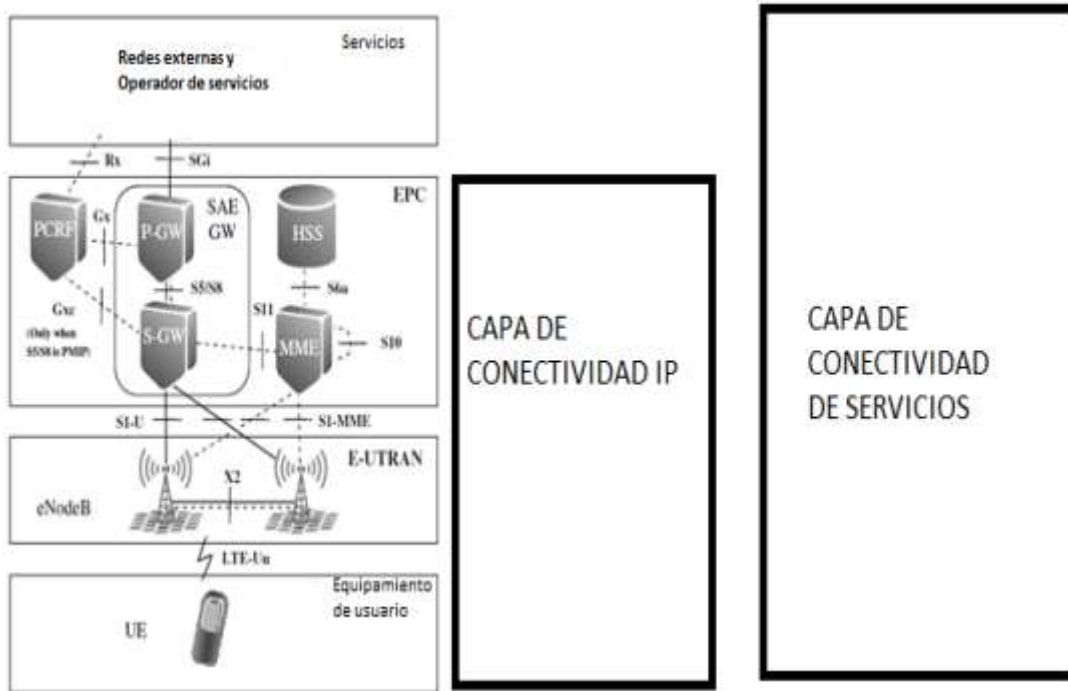


Figura 9: Arquitectura de red de acceso LTE [39].

La Figura 9 muestra, la arquitectura de la red de acceso LTE que está compuesta por una serie de elementos que permiten la comunicación entre los dispositivos de los usuarios y la red central del operador. En esta estructura, los equipos de usuario (UE) se conectan de forma inalámbrica a las estaciones base eNodeB, las cuales gestionan la transmisión de datos, el control de radio y la movilidad de los usuarios dentro de la red.

La tecnología 4G permite velocidades de descarga de hasta 60 Mbps y picos de hasta 100 Mbps, estas velocidades se debe al uso de técnicas de OFDM para el downlink, SC-FDMA para el uplink y configuraciones de antenas MIMO que optimizan la eficiencia espectral [39].

2.3 Cobertura

2.3.1 Cobertura de TDT

La cobertura de TDT es toda el área geográfica donde la señal transmitida es captada con niveles óptimos d intensidad y calidad para garantizar una buena recepción de contenido audiovisual.

La cobertura esta influenciada por varios factores técnicos y ambientales, tales como:

- **Topográfica del terreno:** terrenos con elevaciones, montañas y depresiones geográficas pueden bloquear la señal y generar zonas de sombra, de acuerdo con el Análisis de modelos de propagación para televisión digital terrestre (TDT), bajo el estándar ISDB-Tb en las ciudades de Ambato y Latacunga, Ecuador el modelo ITU-R P.1546 es uno de los más precisos para estimar la propagación en condiciones similares, pues toma en cuenta la orografía local y la frecuencia utilizada [42].
- **Potencia radiada aparente (ERP):** esta determina la intensidad de señal que se emite hacia una dirección específica.
- **Altura de las antenas transmisoras y receptoras:** las antenas colocadas a mayor altura tienden a superar obstáculos y ampliar su área de cobertura, bajo parámetros técnicos recomiendan alturas de 10 metros para transmisores y 1.5 metros para receptores domiciliarios [43].
- **Tipo de antenas:** el tipo de antenas que utilicen para la transmisión es una de las características a tener en cuenta, una antena omnidireccional proporciona cobertura uniforme, mientras que las antenas sectoriales o directivas concentran la señal hacia zonas específicas mejorando la cobertura en áreas críticas o de alta densidad poblacional [43].
- **Frecuencia de operación:** la frecuencia a la que opera TDT está en la banda UHF desde los 470 a 806 MHz.

2.3.2 Cobertura de IPTV

Debido a que IPTV se basa en una arquitectura cliente-servidor, el contenido audiovisual es transmitido sobre redes de datos utilizando protocolos IP. Por lo tanto, la cobertura está

condicionada a la disponibilidad de conectividad de banda ancha de alta velocidad, así como a la capacidad del proveedor para gestionar eficientemente el tráfico.

En redes modernas como GPON la cobertura se optimiza mediante mecanismos como el SINGLE Copy Broadcast (SCB) y la utilización de colas de prioridad que garantizan una transmisión eficiente [44].

La cobertura efectiva de IPTV está influenciado por factores como:

- **Tipo de red de acceso:** redes GPON, ADLS/VDSL, entre otras, ofrecen diferentes anchos de banda y diferentes latencias, lo que afecta el servicio y es una característica fundamental en la cobertura.
- **Mecanismos de entrega:** otro aspecto a tener en cuenta es el tipo de entrega si es unicast que implica una conexión punto a punto lo que garantiza una entrega de contenido estable, o multicast que implica que un flujo sea para varios usuarios [45].

2.3.3 Cobertura de OTT

Los servicios de OTT son plataformas de distribución de contenido que operan sobre redes de Internet, sin la necesidad de infraestructura propia de transmisión como TDT o IPTV. Por lo que dentro del territorio ecuatoriano el crecimiento de este servicio está directamente vinculado al desarrollo de la infraestructura de acceso a internet fijo y móvil [39].

A diferencia de TDT cuya cobertura depende de las antenas transmisoras, y de IPTV que requiere redes gestionadas por operador, OTT es tan amplia como lo permita la conectividad a internet proporcionado por los Proveedores de Servicio de Internet (IPS) [46].

Sin embargo, el acceso efectivo a estos servicios depende de factores como:

- Ancho de banda disponible en la última milla (especialmente en FTTH o redes 4G/5G).
- Congestión de red, especialmente en zonas urbanas durante horarios pico.
- Limitaciones de cobertura en zonas rurales, donde aún predominan redes móviles de menor velocidad (3G o satelital).

2.4 Comparación de las tecnologías TDT, IPTV y OTT

La Tabla 8 presenta una comparación entre diferentes tecnologías de transmisión utilizadas para la distribución de contenidos audiovisuales y servicios de telecomunicaciones. En esta tabla se analizan aspectos relevantes como el tipo de infraestructura utilizada, el medio de

transmisión, el alcance, la capacidad de ancho de banda y las aplicaciones principales de cada tecnología.

Características	TDT (Televisión Digital Terrestre)	IPTV (Televisión por Protocolo de Internet)	OTT (transmisión por encima de la línea)
Infraestructura	Requiere torres de transmisión y antenas receptoras.	Utiliza redes de banda ancha (cable, fibra óptica) para transmitir contenido.	Solo depende de una conexión a Internet, sin infraestructura específica.
Tecnología de transmisión	Utiliza espectro radioeléctrico bajo el estándar ISDB-Tb.	Basado en el protocolo IP con calidad de servicio (QoS) garantizada.	Transmisión a través de internet (HTTP/HTTPS, sin garantía de QoS).
Cobertura Geográfica	Limitada por la ubicación y cantidad de estaciones transmisoras.	Depende de la disponibilidad de internet fijo de alta velocidad.	Global, siempre que haya acceso a internet (fijo o móvil).
Calidad de servicio	Alta calidad con menor susceptibilidad a interferencias; depende de las condiciones geográficas.	Alta calidad, sujeta a la capacidad y estabilidad de la red de internet.	Varía según la velocidad y estabilidad del internet del usuario.
Interactividad	Limitada (interactividad básica como EPG y subtítulos).	Ofrece opciones avanzadas, como grabación y personalización de contenido.	Alta interactividad, con acceso a contenido bajo demanda.
Costos de Implementación	Altos, debido a la necesidad de infraestructura física robusta (torres, antenas).	Moderados, ya que utilizan redes existentes de Internet.	Bajos para proveedores, ya que no requieren infraestructura física adicional.

Accesibilidad	Los usuarios necesitan un televisor compatible o un decodificador.	Requiere suscripción y acceso a un proveedor de servicios con infraestructura IPTV.	Disponible desde cualquier dispositivo con acceso a internet (móvil, TV, PC).
Regulación	Regulada estrictamente por el uso de espectro radioeléctrico.	Regulación específica según proveedores y calidad de servicio.	Regulación menor; competencia desleal con servicios tradicionales.

Tabla 8. Tabla comparativa de tecnologías

2.5 Estado del arte

Dentro del territorio ecuatoriano se han desarrollado múltiples investigaciones enfocadas en la infraestructura, adopción y cobertura de tecnologías como TDT, IPTV y OTT, como el de Sarango Vera [47], análisis como la expansión de servicios OTT ha desplazado la televisión tradicional en ciudades principales como son Quito y Guayaquil, demostrando el cambio en las preferencias de los usuarios hacia plataformas bajo demanda. En el estudio realizado por Gutama [48], se compara las tecnologías de IPTV y OTT, exponiendo como estas tecnologías presentan ventajas en cuanto a calidad de servicio, personalización y consumo móvil. La investigación de Cárdena y Guzmán [49], presenta el diseño de infraestructura de una red GPON para el servicio de IPTV para comunidades de Saquisilí, evidenciando que el servicio de IPTV puede extenderse incluso en zonas rurales si se planifica adecuadamente. Dentro del campo investigativo Fuertes y Rosero [50], proponen un servicio de vigilancia sobre OTT, mostrando que la versatilidad de estas plataformas va más allá que el de solo prestar entretenimiento para los usuarios. La investigación de Samaniego [51], evaluó el impacto de las tecnologías de TDT, IPTV y OTT en las provincias de Chimborazo, identificando brechas de regulación y desigualdad digital.

Los estudios de estas tecnologías también son de interés internacional, en el informe de Broadcast Networks Europe [52], destaca el valor estratégico de la TDT en países europeos como plataforma de acceso universal, adaptabilidad en emergencias e informativo, enfatizando en la eficiencia espectral y la necesidad de mantener redes terrestres como soporte para la cobertura nacional. La investigación de Giannakopoulos [53], relata los requerimientos técnicos de la televisión IP, como la infraestructura, protocolos de transición y gestión de calidad de servicio (QoS). El estudio realizado por Polisetty [54], explora los

factores que influyen en la adopción de estas plataformas desde el punto de vista de innovación tecnológica, identificando elementos como facilidad de uso, conectividad y disponibilidad de dispositivos como puntos clave en su expansión.

CAPITULO III

3. METODOLOGIA

El presente capítulo describe el método empleado durante la investigación para analizar la infraestructura y la cobertura de las tecnologías TDT, IPTV y OTT en la provincia de Pichincha, permitiendo identificar las brechas que tienen las tecnologías para brindar un servicio equitativo dentro de la provincia. Esta investigación combina métodos cuantitativos y cualitativos. Los datos cuantitativos ayudan a medir el área de cobertura y la calidad de los sistemas, mientras que los datos cualitativos proporcionan información del estado actual de estos sistemas dentro de Pichincha. Los métodos utilizados en esta investigación son:

- **Método hipotético-deductivo:** se buscó determinar el problema que influye en la infraestructura de los sistemas TDT, IPTV y OTT y como esto afecta a una cobertura equitativa en la provincia de Pichincha, con enfoque a limitaciones técnicas y regulatorias. La hipótesis planteada será validada mediante el análisis estadístico de los datos recolectados.
- **Método lógico-inductivo:** se abordó el estudio de casos particulares de cada sistema en distintas zonas de Pichincha, con el fin de analizar el estado actual de los sistemas dentro de zonas urbanas y rurales.
- **Método analítico:** se analizaron los documentos oficiales de los sistemas de TDT, IPTV y OTT proporcionados por las agencias regulatorias del Ecuador con el fin de determinar las regulaciones y políticas que estos sistemas tienen que cumplir para la implementación y prestación de servicios

3.1 Tipo de Investigación

- **Investigación aplicada:** la investigación tiene como objetivo desarrollar propuestas técnicas que contribuyan a la optimización de la cobertura de los servicios de TDT, IPTV y OTT, para brindar un acceso equitativo tanto a usuarios de zonas urbanas y rurales.
- **Investigación explicativa:** se buscó identificar las causas que generan desigualdad en la distribución de los sistemas en zonas rurales y urbanas.

3.2 Diseño de Investigación

El diseño metodológico de esta investigación se estructuró bajo un enfoque no experimental de tipo transversal, esto permite un análisis de la infraestructura de TDT, IPTV y OTT en un

momento determinado. Este diseño permitió evaluar las condiciones existentes mediante la recolección de datos de fuentes primarias y secundarias.

3.3 Técnicas de recolección de Datos

La presente investigación utilizó diversas técnicas de recolección de información, permitiendo recopilar datos sobre la cobertura y calidad de servicios de las tecnologías de TDT, IPTV y OTT en la provincia de Pichincha. A continuación, se presentan los diferentes métodos utilizados:

- **Análisis documental:** se realizó la recopilación de documentos normativos emitidos por las agencias regulatorias del país, así como fichas técnicas, estudios previos e informes que revelaron la situación actual de los sistemas de TDT, IPTV y OTT dentro de la provincia, con el objetivo de identificar brechas de cobertura y calidad en los sistemas TDT, IPTV y OTT.
- **Entrevistas técnicas:** se realizó una consulta técnica a un especialista de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), quien proporcionó información sobre la tecnología de TDT.
- **Extracción de datos técnicos:** se recopilaron parámetros técnicos a través de las normativas técnicas emitidas por las agencias regulatorias y operadoras esta información incluye parámetros como frecuencias de operación, tipos de modulación y parámetros de calidad de servicio, los cuales resultan esenciales para el desarrollo de las simulaciones.

3.4 Fases de ejecución

La siguiente investigación tuvo una estructura de cinco fases mismas que ayudaron a analizar la infraestructura y cobertura de los sistemas en Pichincha, como se aprecia en la figura 10:



Figura 10. Fases

Fase 1: Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de documentación científica y técnica de documentación como: artículos científicos, trabajos de tesis realizadas, informes regulatorios, boletines estadísticos proporcionadas por la ARCOTEL, todo relacionado con el estado actual de la infraestructura de los sistemas de TDT, IPTV y OTT. Esta fase permitió conocer los aspectos generales con los que cuentan estos sistemas dentro del territorio ecuatoriano.

Fase 2: se analizó el estado actual de los sistemas, por ejemplo, para TDT la ubicación de los transmisores, el número de antenas y a que operadora de televisión pertenecían dentro de la provincia de Pichincha; para IPTV y OTT se consultaron las bases estructurales que necesitan estos sistemas para prestar estos servicios.

Fase 3: con la información obtenida en la fase anterior se construyó un escenario de simulación que permitió recrear la cobertura de los sistemas de TDT, IPTV y OTT.

Fase 4: a partir de las simulaciones realizadas se analizó el área de cobertura con el objetivo de evaluar la calidad del servicio.

Fase 5: se plantearon propuestas en base al análisis de los datos obtenidos, para generar un acceso equitativo de estos sistemas.

3.5 Población de estudio y tamaño de muestra

3.5.1 Población

La población de esta investigación está conformada por los escenarios geográficos de la provincia de Pichincha, cubiertos por los sistemas de TDT, IPTV y OTT. En el caso de TDT, la población está definida por las zonas geográficas cubiertas por las estaciones de

transmisión activas, para IPTV, se utilizaron las zonas de cobertura de la red de acceso fijo como las redes GPON, y para OTT las zonas de cobertura de redes móviles 4G.

3.5.2 Muestra

Para la muestra de investigación se utilizó una muestra no probabilística por conveniencia, en donde, la muestra estadística de cada tecnología fueron los escenarios geográficos con criterios urbano-rural, que permitieron observar diferencias significativas en el acceso a los servicios.

3.6 Operación de las variables

Variable Dependiente	Concepto	Indicadores	Técnicas e instrumentación
Área de cobertura	Es el espacio geográfico, delimitado por condiciones físicas y técnicas, donde los servicios de TDT, IPTV y OTT pueden ser accedidos.	Porcentaje de territorio.	Simulación en software Xirio Online. Software QGIS
Variable Independiente	Concepto	Indicadores	Técnicas e instrumentación
Parámetros técnicos de transmisión	Son variables utilizadas en el modelo de cobertura que determinan el comportamiento del sistema, como frecuencia de operación, tipo de red y entorno geográfico.	Frecuencias de operación. Tipo de acceso. Altura de antenas. Nodos de accesos.	Datos técnicos obtenidos de agencias regulatorias. Fichas técnicas.

3.7 Métodos de análisis, y procesamiento de datos

El análisis y procesamiento de datos en esta investigación se estructuró en tres niveles que son: normativo, técnico y simulado.

En el análisis normativo permitió sintetizar regulaciones. Resoluciones técnicas y planes de gestión emitidas por agencias de control como la ARCOTEL, permitiendo establecer los

requerimientos mínimos de calidad para cada tecnología, además de servir como referencia para contrastar los resultados de las simulaciones.

En el análisis técnico se procesaron datos recopilados de cada sistema, para TDT se utilizaron coordenadas y características de estaciones transmisoras basadas en normas dictadas por ARCOTEL, en el caso de IPTV se analizaron mapas de cobertura de redes de acceso fijo GPON de una de las operadoras con mayor cobertura como es CNT EP, mientras que para OTT se procesaron datos de cobertura móvil 4G y especificaciones de equipos, para simular el área de cobertura de la operadora CONECEL.

Mediante el software Xirion Online se llevaron a cabo las simulaciones de los sistemas, categorizando los resultados obtenidos en zonas de cobertura, mismos que fueron exportados al software QGIS para obtener el porcentaje de dichas zonas.

3.8 Análisis de la infraestructura actual

El análisis de la infraestructura de los sistemas de telecomunicaciones se desarrolló con el propósito de identificar, clasificar y caracterizar los elementos técnicos que soportan los servicios de TDT, IPTV y OTT en la provincia de Pichincha.

3.8.1 Infraestructura de TDT

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones en el informe denominado “Número de Estaciones Concesionadas de TV Abierta Analógica y TDT por provincia y por tipo” publicado en marzo de 2025, da a conocer que en la provincia de Pichincha actualmente existen siete estaciones de TDT, siendo seis estaciones transmisoras de ámbito comercial privado y una estación transmisora de servicio público [3].

Las estaciones transmisoras de TDT fueron consideradas como nodos de radiodifusión de alta potencia, cuyo objetivo principal es garantizar la cobertura continua del servicio de televisión. Las ubicaciones geográficas de las estaciones fueron obtenidas mediante una petición a la ARCOTEL, la misma que fue respondida por el Mgs. Dennys Alejandro Dávila Velastegui Coordinador Técnico de Títulos Habilitantes, dentro de la información que nos proporcionó se encuentra el tipo de servicio en el caso de TDT es ISDB-T Televisión Digital,

el nombre de la estación, la ubicación en la provincia de Pichincha, además de la latitud y longitud como se observa en la tabla 9.

SERVICIO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	UBICACIÓN_A	LATITUD_A	LONGITUD_A
ISDB-T Televisión Digital	TC TELEVISION	CERRO PICHINCHA	0°10'4" S	78°31'27" W
ISDB-T Televisión Digital	TELEAMAZONAS	CERRO PICHINCHA	0°10'2.39" S	78°31'25.73" W
ISDB-T Televisión Digital	TELESUCESOS	CERRO PICHINCHA	0°10'1.49" S	78°31'29.3" W
ISDB-T Televisión Digital	ECUADOR TV	CERRO PICHINCHA	0°10'6" S	78°31'29.15" W
ISDB-T Televisión Digital	TELEVICENTRO- TVC	CERRO PICHINCHA	0°10'1.65" S	78°31'31.4" W
ISDB-T Televisión Digital	TV+ (TEVEMAS)	CERRO PICHINCHA	0°10'3.5" S	78°31'25.2" W
ISDB-T Televisión Digital	TELEVISORA NACIONAL	CERRO PICHINCHA	0°10'1.3" S	78°31'22.9" W

Tabla 9. Ubicación de las antenas de TDT en Pichincha

3.8.2 Infraestructura de IPTV

El análisis de la infraestructura asociada a los servicios de IPTV se fundamenta en la disponibilidad y capacidad de la red de acceso de banda ancha fija, particularmente en redes de fibra óptica bajo arquitectura GPON, dado a que IPTV depende directamente de la transmisión de contenido audiovisual sobre redes IP de alta velocidad.

De acuerdo con el Informe de Rendición de Cuentas 2024 de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP), la provincia de Pichincha concentra una parte significativa del despliegue nacional de infraestructura de fibra óptica, debido a su alta densidad poblacional, actividad económica y rol estratégico como centro administrativo del país [55]. La infraestructura de acceso en Pichincha se encuentra compuesta principalmente por redes FTTH/GPON, complementados por tramos de HFC y xDSL en zonas periféricas. El informe de rendición de cuentas destaca que la modernización de la red de CNT prioriza capitales provinciales y áreas metropolitanas, siendo el Distrito Metropolitano de Quito el principal nodo de interconexión y distribución de servicios de datos de alta capacidad. A partir de la información reportada por CNT se identifican los siguientes elementos detallados en la tabla 10.

Elemento de infraestructura	Descripción en Pichincha	Relevancia para IPTV
Red de acceso FTTH (GPON)	Despliegue prioritario en Quito y cantones urbanos	Permite transmisión de IPTV en HD y 4K
Centrales y nodos de distribución	Nodos urbanos y metropolitanos	Soporte para multicast y VoD
Red de transporte IP	Enlaces de alta capacidad	Garantiza baja latencia y estabilidad
Casas pasadas con fibra	Alta concentración provincial	Cobertura potencial del servicio
Usuarios conectados	Crecimiento sostenido	Expansión progresiva de IPTV

Tabla 10. Información de redes GPON para IPTV

3.8.3 Infraestructura de OTT

El análisis del servicio de OTT se centró en las estaciones que operan bajo la tecnología 4G LTE, específicamente en la banda LTE AWS 1700 MHz para CONECEL. De acuerdo con la información del “Servicio Móvil Avanzado de la ARCOTEL” publicada en septiembre de 2025, hasta el mes de agosto en la provincia de Pichincha la empresa CONECEL contaba con 697 estaciones radio bases que prestan este tipo de servicio [56]. No, obstante para efectos de simulación debido a limitaciones de capacidad computacional, se seleccionó una muestra de 300 estaciones base como se muestra en la Tabla 11, las ubicaciones fueron obtenidas mediante el aplicativo de la ARCOTEL para visualizar la cobertura.

Parroquia	Número de estaciones
Quito	281
Rumiñahui	14
Cayambe	1
Mejía	1
Pedro Moncayo	1
San Miguel de los Bancos	1
Puerto Quito	1
TOTAL	300

Tabla 11. Información de radio bases con servicio LTE para OTT

3.9 Marco normativo y regulatorio

El marco regulatorio de las telecomunicaciones en el Ecuador regulado por la ARCOTEL dictamina todas las normas técnicas necesarias para la prestación de servicios, con el objetivo de administrar, regular y fomentar su desarrollo, garantizando el acceso de estos servicios para todos los ecuatorianos.

Para los sistemas de TDT, IPTV y OTT el marco regulatorio, está compuesto por diversas normativas que regulan su operación.

3.9.1 Televisión Digital Terrestre

La Norma Técnica de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre redactada y emitida por la ARCOTEL a través del acuerdo ARCOTEL-2015-0301, publicado en septiembre de 2015, define las especificaciones y regulaciones técnicas necesarias para implementar la televisión digital terrestre en el Ecuador, conforme al estándar ISDB-T Internacional adoptado por la Ex – CONATEL el 25 de marzo de 2010 bajo la resolución No. 084-05-CONATEL-2010. Entre los aspectos técnicos tenemos [29].

La normativa técnica se estructura en artículos que especifican los requisitos de operación. En el artículo 5, se define el plan de frecuencias asignado para el servicio de TDT las bandas UHF, IV y V, mostradas en la tabla 12. La canalización de este espectro se detalla en el artículo 6 estableciendo la división de las bandas principales en 32 canales físicos de 6 MHz de ancho de banda, con la particularidad que la portadora central del canal debe tener un desplazamiento positivo de 1/7 MHz como se muestra en la tabla 13:

BANDA	RANGO DE FRECUENCIA (UHF)
--------------	----------------------------------

IV	470 – 482 MHz
	512 – 608 MHz
	614 – 644 MHz
V	644 – 698 MHz

Tabla 12. Bandas de Frecuencias Principales [29]

CANAL FÍSICO No.	FRECUENCIA INICIAL (MHz)	FRECUENCIA FINAL (MHz)	FRECUENCIA CENTRAL (MHz)
14	470	476	473 + 1/7
15	476	482	479 + 1/7
21	512	518	515 + 1/7
22	518	524	521 + 1/7
23	524	530	527 + 1/7
24	530	536	533 + 1/7
25	536	542	539 + 1/7
26	542	548	545 + 1/7
27	548	554	551 + 1/7
28	554	560	557 + 1/7
29	560	566	563 + 1/7
30	566	572	569 + 1/7
31	572	578	575 + 1/7
32	578	584	581 + 1/7
33	584	590	587 + 1/7
34	590	596	593 + 1/7
35	596	602	599 + 1/7
36	602	608	605 + 1/7
38	614	620	617 + 1/7
39	620	626	623 + 1/7
40	626	632	629 + 1/7
41	632	638	635 + 1/7
42	638	644	641 + 1/7
43	644	650	647 + 1/7
44	650	656	653 + 1/7

45	656	662	659 + 1/7
46	662	668	665 + 1/7
47	668	674	671 + 1/7
48	674	680	677 + 1/7
49	680	686	683 + 1/7
50	686	692	689 + 1/7
51	692	698	695 + 1/7

Tabla 13. Canalización de Frecuencias Principales [30]

Para garantizar la calidad de servicio y la compatibilidad electromagnética, el artículo 10 estipula una serie de parámetros técnicos fundamentales. Se define una intensidad de campo mínima a proteger de 51 dB μ V/m en el borde del área de cobertura y se exige que el transmisor mantenga una Tasa de Error de Modulación (MER) no menor a 32 dB. Así como establece límites para la intensidad de emisiones espurias como se ve en la tabla 14. La máscara de espectro es otro elemento clave, un filtro que todas las estaciones digitales deben incorporar para atenuar sus emisiones en las bandas adyacentes y así prevenir interferencias como se muestra en la tabla 15.

Separación en relación con la portadora central de la señal digital	Atenuación mínima en relación con la potencia media medida en la frecuencia central de las portadoras OFDM
> 15 MHz	60 dB para $P > 25$ W, limitada a 1 mW en VHF y 20 mW en UHF.
< -15 MHz	Para $P \leq 25$ W, limitada a 25 μ W en VHF y UHF.

Tabla 14. Intensidad de Emisiones Espurias [30]

Separación o alejamiento con relación a la portadora central de la señal digital (MHz)	Atenuación mínima con relación a la potencia media, medida en la frecuencia de la portadora central Máscara crítica (dB)
-15,00	97,0
-9,00	97,0
-4,50	67,0
-3,15	50,0

-3,00	34,0
-2,86	20,0
-2,79	0,0
2,79	0,0
2,86	20,0
3,00	34,0
3,15	50,0
4,50	67,0
9,00	97,0
15,00	97,0

Tabla 15. Máscara Crítica [30]

La potencia de salida se regula mediante el cálculo de la Potencia Efectiva Radiada (PER), la cual depende de la potencia del transmisor, la ganancia del sistema radiante y las pérdidas en la línea de transmisión.

$$P. E. R. (kW) = P_T (kW) * 10^{\frac{G (dBd) - Pérdidas (dB)}{10}}$$

Dónde:

PT (kW): es la potencia después del filtro de máscara.

G (dBd): es la ganancia del sistema radiante, que se debe calcular de acuerdo con la Resolución 072-04-CONATEL-2010.

Pérdidas (dB): las correspondientes a la línea de transmisión, conectores, etc.

Localización del sistema de transmisión: Según la legislación vigente, se podrán localizar en zonas físicas propias o compartidas, dentro o fuera de las áreas pobladas de la zona de cobertura a la que sirven.

La identificación de la estación de televisión digital terrestre (nombre de la estación) debe estar presente en el exterior del área física donde se encuentra el transmisor y en la torre que sostiene el sistema radiante.

La norma técnica también contempla la flexibilidad de contenidos, el artículo 11 autoriza la multiprogramación, permitiendo a los prestadores de servicio un canal lógico de 6 MHz como se muestra en la tabla 16.

HDTV (1080i)		OS
HDTV (720p)	HDTV (720p)	OS
HDTV (720p)	SDTV	SDTV
		OS

SDTV	SDTV	SDTV	SDTV	OS
-------------	------	------	------	----

Tabla 16. Multiprogramación [30].

3.9.2 Televisión por Protocolo de Internet

El sistema de IPTV dentro del territorio ecuatoriano no cuenta con una normativa técnica que regule sus parámetros de transmisión, cobertura o calidad de servicio. Actualmente los sistemas de IPTV se encuentran comprendidos dentro de la categoría de servicios de audio y video por suscripción, regulados por la Ley Orgánica de las Telecomunicaciones.

El Reglamento de audio y video por suscripción redactada y emitida por la CONATEL con modificación el 23 de octubre de 2012, define las especificaciones y regulaciones técnicas necesarias para implementar la televisión por protocolo de internet en el Ecuador [57].

El artículo 45 fija los índices de calidad de servicio que los prestadores de servicio deben reportar trimestralmente, estos son medidos en dos métricas operativas: el tiempo promedio de reclamos como se muestra en la tabla 16 y el tiempo promedio de reparación de averías cuyo valor general es de 72 horas como se muestra en la tabla 17.

Valor Objetivo (h)	Porcentaje de Casos
Menor que	24.90%
Menor que	48.91% - 95%
Menor que	72.96% - 99%

Tabla 17. Tabla de Atención de reclamo

El desarrollo del sector está definido por la política pública de telecomunicaciones, que tiene como objetivo fortalecer el sector, reducir la brecha digital y fomentar la inversión e innovación. Esta política está estructurada en cuatro ejes estratégicos: Eje 1 (Normativa y Gobernanza) que busca modernizar el marco legal y simplificar trámites para facilitar el despliegue de infraestructura. Eje 2 (Conectividad) que promueve la inversión en infraestructura y nuevas tecnológicas, incentivos para la migración a red 4G o superiores. Eje 3 (Acceso) está enfocado en mejorar la asequibilidad y el acceso a los servicios de banda ancha incluyendo la actualización de las definiciones de velocidad. Eje 4 (Radiodifusión y Televisión) establece objetivos para promover servicios de radiodifusión y televisión por suscripción de calidad, combatiendo la piratería y fomentando la transmisión tecnológica. Adicionalmente, el marco normativo aplicable al despliegue y uso de infraestructura de redes fijas resulta determinante para el análisis del servicio IPTV, dado que su provisión depende directamente de la disponibilidad de redes de acceso de banda ancha, especialmente aquellas

basadas en fibra óptica bajo arquitectura GPON. En este contexto, las normativas emitidas por ARCOTEL relacionadas con el uso compartido de infraestructura física, el tendido de redes de telecomunicaciones y la calidad de los servicios de acceso fijo establecen las condiciones técnicas y operativas que permiten evaluar la cobertura potencial del servicio IPTV en la provincia de Pichincha, conforme a la infraestructura identificada en el apartado 3.8 [31], [32]. Asimismo, las recomendaciones internacionales de la UIT-T en materia de calidad de servicio (QoS) y calidad de experiencia (QoE) para redes IP constituyen un referente técnico para la evaluación del desempeño del servicio IPTV, asegurando niveles aceptables de continuidad, latencia y estabilidad en la entrega de contenidos audiovisuales sobre redes de datos [18], [45].

3.9.3 Over-The-Top

El servicio de OTT al igual que IPTV no cuenta con una normativa específica que la regule dentro del territorio ecuatoriano, pero el Plan de la Sociedad de la Información y del Conocimiento 2018-2021, publicado en octubre de 2018 tiene en cuenta que el enfoque de innovación digital con mayor impacto podrá darse en las siguientes áreas: Los servicios OTT, Plataformas Digitales y aplicaciones digitales de procesos productivos [58].

Debido a que el servicio de OTT dentro del Ecuador depende principalmente de la infraestructura de internet fijo e internet móvil, siendo este último el que ha permitido un mayor crecimiento del servicio de OTT, este se encuentra regulada por varias normativas.

El despliegue y funcionamiento de estos servicios está sujeto a la base fundamental que es la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, la cual en su artículo 29 define la competencia de regulación técnica para garantizar la compatibilidad, calidad, seguridad y protección ambiental. Complementariamente se encuentra el artículo 30 que establece los principios de regulación del acceso [59]:

Dentro de la regulación técnica se tiene el Reglamento de radiación no ionizante de frecuencias del espectro electromagnético que establece límites de protección para las emisiones generadas por las estaciones, en su artículo 5 fija los límites máximos de exposición para las estaciones fijas como se muestra en la tabla 18. El artículo 6 explica el cálculo del nivel de exposición simultánea por efecto de múltiples fuentes el cual debe asegurar que la suma porcentual de la exposición a todas las fuentes en una zona no exceda el 100%.

Para garantizar el cumplimiento de los límites se establece el artículo 7 que condiciona la instalación de nuevas estaciones o la coexistencia de antenas en una misma infraestructura a

que no superen los límites individuales. Por su parte, el artículo 8 delega al propietario de la estructura de soporte compartida la responsabilidad de cumplir con la normativa ante la Super Intendencia de Telecomunicaciones (SUPTTEL).

Tipo de exposición	Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico, E (V/m)	Intensidad de campo magnético, H (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m ²)
Ocupacional	3 - 65 kHz	610	24,4	-
	0,065 - 1 MHz	610	1,6/f	-
	1 - 10 MHz	610/f	1,6/f	-
	10 - 400 MHz	61	0,16	10
	400 - 2000 MHz	3f ^{1/2}	0,008f ^{1/2}	f/40
	2 - 300 GHz	137	0,36	50
Poblacional	3 - 150 kHz	87	5	-
	0,15 - 1 MHz	87	0,73/f	-
	1 - 10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	-
	10 - 400 MHz	28	0,073	2
	400 - 2000 MHz	1,375f ^{1/2}	0,0037f ^{1/2}	f/200
	2 - 300 GHz	61	0,16	10

Tabla 18. Límites máximos de exposición [60]

Donde:

- a) Los valores límites señalados en esta tabla corresponden a valores eficaces (RMS) sin perturbaciones;
- b) f es la magnitud de la frecuencia indicada en la columna rango de frecuencias; se deben omitir las unidades al momento de hacer el cálculo del límite respectivo;
- c) Para las frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, el período de tiempo en el que se debe realizar la medición será de 6 minutos; y,
- d) Para las frecuencias superiores a 10 GHz; el período de tiempo en el que se debe realizar la medición será 68/f1.05 minutos.

Los artículos 9 y 10 especifican los requisitos para el instrumento de medición y el procedimiento de medición a seguir dicho procedimiento descrito en el anexo 3

Procedimiento:

- A. Como paso previo a la medición se llevó a cabo un levantamiento visual del lugar de instalación del sistema irradiante, y se tomaron fotografías para dar una vista panorámica del entorno de la antena considerada.
- B. Se efectuó la medición en los puntos accesibles al público donde la misma sea prácticamente realizable.
- C. A efectos de evitar posibles acoplamientos capacitivos, los puntos de medición se situaron a una distancia no inferior a 20 cm de cualquier objeto.
- D. Se calculó el punto de frontera entre el campo cercano y el campo lejano al fin de medir:
 - a) 4.1 En el campo lejano el campo eléctrico E o el campo magnético H.
 - b) 4.2 En el campo cercano el campo eléctrico E y el campo magnético H.Considerando que el punto de frontera está dado por el máximo entre:

$$\text{Máx} \left(3\lambda; \frac{2D^2}{\lambda} \right)$$

Donde:

- **D:** Es el diámetro de la antena (m).
- **λ :** Longitud de onda (m).

Método de medición:

1. El encargado de realizar las medidas correspondientes debió colocarse en el límite del cálculo teórico de la zona ocupacional y la zona poblacional, (que sea físicamente realizable), cubriendo un área radial cada 30 grados.
2. Si el resultado de la medición es superior al establecido en el artículo 5 del presente reglamento, se debe continuar midiendo hasta encontrar el punto que permita cumplir con los límites establecidos.
3. Para cada uno de los radiales se cubrió lo establecido en el punto 1.
4. Se repitieron los puntos 1, 2 y 3 al fin de determinar la zona de rebasamiento.
5. Una vez establecidos y cumplidos los límites máximos de exposición se procedió con levantamiento de la señalización que sea visible al público en general y a los operarios en el caso de la zona de rebasamiento. El particular se muestra en la figura 11.

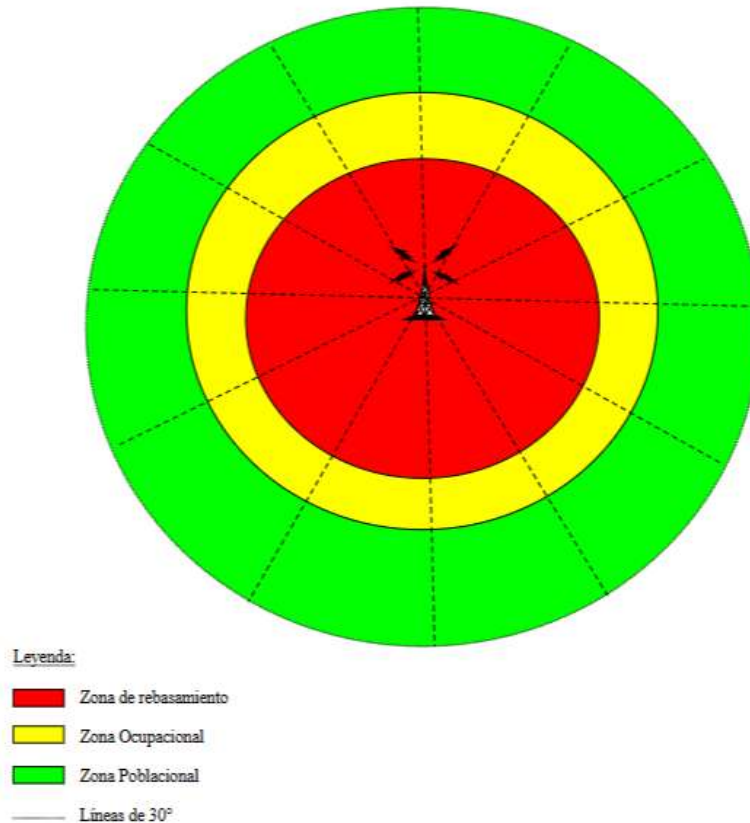


Figura 11. Esquema de las zonas [60]

La Figura 11 muestra el esquema de delimitación de zonas alrededor de una estación transmisora en función de los niveles de exposición a radiaciones no ionizantes. Se distinguen tres áreas: la zona de rebasamiento (color rojo), donde los niveles de exposición superan los límites ocupacionales, restringiendo el acceso; la zona ocupacional (color amarillo), donde los niveles superan los límites poblacionales pero se mantienen por debajo de los ocupacionales, permitiendo acceso controlado al personal técnico; y la zona poblacional (color verde), donde los niveles de exposición no superan los límites permitidos para la población en general (hasta 2 W/m^2 para 10–400 MHz y $f/200 \text{ W/m}^2$ para 400–2000 MHz). Finalmente, las líneas radiales de 30° facilitan la evaluación de los niveles de exposición en distintos sectores alrededor de la estación transmisora.

3.10 Herramientas de simulación y análisis geoespacial

Las simulaciones de cobertura de los sistemas de transmisión analizados se realizaron con el software Xirio Online, una herramienta especializada en planificación, que permite modelar redes de radiodifusión y telecomunicaciones considerando parámetros técnicos y características del terreno. Esta herramienta facilita la generación de cobertura mediante

modelos de propagación que permiten estimar el comportamiento de la señal en diferentes zonas geográficas.

El software Xirio Online proporciona un plan gratuito y uno pagado, para esta investigación se utilizó el plan gratuito por ende se tenía limitaciones como el análisis estadístico, permitiendo solo visualizar la cobertura. Por esta razón los resultados obtenidos fueron exportados y procesados en el software QGIS, una plataforma de sistemas de información geográfica ampliamente utilizada para el análisis de datos geográficos.

Mediante el software QGIS se realizó el procesamiento geoespacial de los mapas de cobertura generados en la simulación con el software Xirio Online, permitiendo calcular la cobertura, clasificando por áreas y niveles de intensidad de señal.

A partir de la información obtenida en QGIS se analizaron mediante el software R con el fin de representar gráficamente el comportamiento de los parámetros de cada sistema con respecto a su cobertura.

3.11 Modelación de la cobertura

La modelación de la cobertura y la evaluación de la calidad de servicio se desarrolló con el objetivo de estimar el comportamiento espacial de los servicios de TDT, IPTV y OTT, permitiendo conocer el alcance de cada tecnología, identificar zonas con niveles insuficientes de servicio y establecer criterios técnicos para la detección de brechas de cobertura.

La modelación de la cobertura para las tecnologías TDT, OTT e IPTV se realizó utilizando la plataforma Xirio Online, la cual permitió simular el comportamiento de la cobertura de cada tecnología en función de sus parámetros técnicos. Dado que la versión utilizada de Xirio Online no proporciona resultados estadísticos cuantitativos, los mapas de cobertura obtenidos fueron exportados mediante capturas de pantalla georreferenciadas y posteriormente procesadas en el software QGIS, donde se realizó el análisis espacial necesario para calcular los porcentajes de cobertura sobre un área de estudio.

3.11.1 Modelación de la cobertura de TDT

La cobertura de servicio de TDT se modeló considerando la información sobre las estaciones transmisoras identificadas en la fase de análisis, para cada estación se configuraron parámetros técnicos basados en la antena comercial Kathrein 4DR series fabricada por la empresa SCALA, mostrada en el Anexo.

Para la simulación se definió los parámetros como se muestran en las tablas 19, 20 y 21.

Rango de Frecuencia (MHz)	Peso (kg)
560 – 656	94.4

Tabla 19. Rango de frecuencia para simulación

Operadora	Frecuencia base (MHz)
TC TELEVISION	506.14
ECUADOR TV	512.14
TELESUCESOS	536.14
TELEAMAZONAS	572.14
TELEVICENTRO-TVC	584.14
TV+ (TEVEMAS)	638.14
TELEVISORA NACIONAL	644.14

Tabla 20. Frecuencias por operadora

Parámetro	Valor
Modelo	Kathrein 4DR-16-2HN
Potencia	500 W
Ganancia	17 dBd
Polarización	Horizontal
Impedancia	50 Ω
Dimensión	4953 mm
Pérdida de feeder	2 dB
Tilt mecánico inicial	-2°
Altura	35 m

Tabla 21. Parámetros técnicos de la antena

Para el diagrama de radiación de la antena se tomó la imagen 2HN series Azimuth pattern, recreando el mismo patrón en el software como se muestra en la figura 12 y 13.

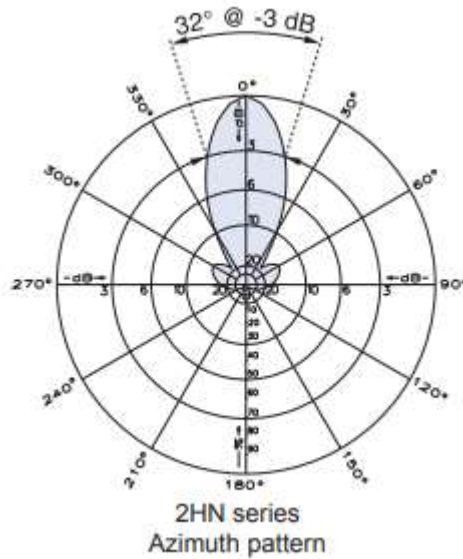


Figura 12. Diagrama de radiación de la antena Kathrein 4DR-16-2HN [61]

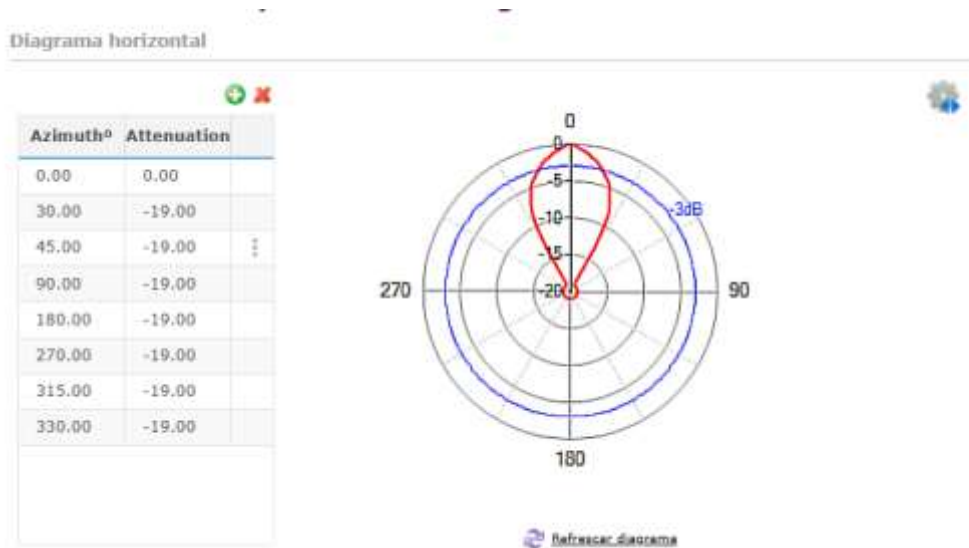


Figura 13. Diagrama de radiación en Xirio Online

3.11.2 Modelación de la cobertura de IPTV

En el caso de IPTV, la modelación de la cobertura no se basa en fenómenos de propagación electromagnética, sino en la disponibilidad y capacidad de la infraestructura de red fija de banda ancha. En este estudio, la modelación de la cobertura para IPTV se realizó mediante una simulación de la red de acceso GPON, basada en la extensión de nodos existentes hasta alcanzar una cobertura equivalente a la actualmente observada en la provincia de Pichincha. Este enfoque permitió representar la disponibilidad del servicio en función de la infraestructura instalada, considerando parámetros técnicos mínimos de capacidad y desempeño definidos por la normativa internacional. La simulación se fundamentó en la

localización lógica de nodos de acceso y centrales de distribución, permitiendo evaluar la cobertura potencial del servicio.

3.11.3 Modelación de la cobertura de OTT

La cobertura de servicio de OTT se modeló considerando la información sobre las estaciones transmisoras identificadas en la fase de análisis, para cada estación se configuraron parámetros técnicos basados en la antena comercial APXVBLL15X-C-i20 de la familia de antenas RF X-TREME fabricada por la empresa RFS, mostrada en el Anexo.

Para la simulación se tomó la banda LTE AWS 1900 MHz como se muestra en la tabla 22.

Rango de Frecuencia (MHz)	Peso (kg)
1710 – 2180	20

Tabla 22. Rango de frecuencia para simulación

En la tabla 23 se muestran los parámetros técnicos utilizados para la simulación de las radiobases.

Parámetro	Valor
Modelo	RF X-TREME APXVBLL15X-Ci20
Potencia	300 W
Ganancia	16.9 dBd
Polarización	Cruzada
Impedancia	50 Ω
Dimensión	1390 mm
Pérdida de feeder	2 dB
Tilt mecánico inicial	-2°
Altura	3 m
Altura de Edificio	9 m

Tabla 23. Parámetros técnicos de la antena

El diagrama de radiación de la antena se tomó la imagen Kathrein 4DR-16-2HN Azimuth pattern, recreando el mismo patrón en el software como se muestra en la figura 14 y 15.

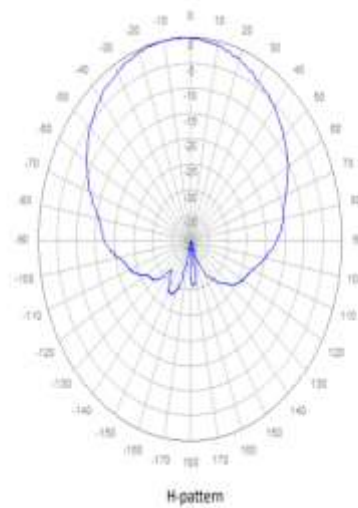


Figura 14. Diagrama de radiación de la antena APXVBLL15X-C-i20

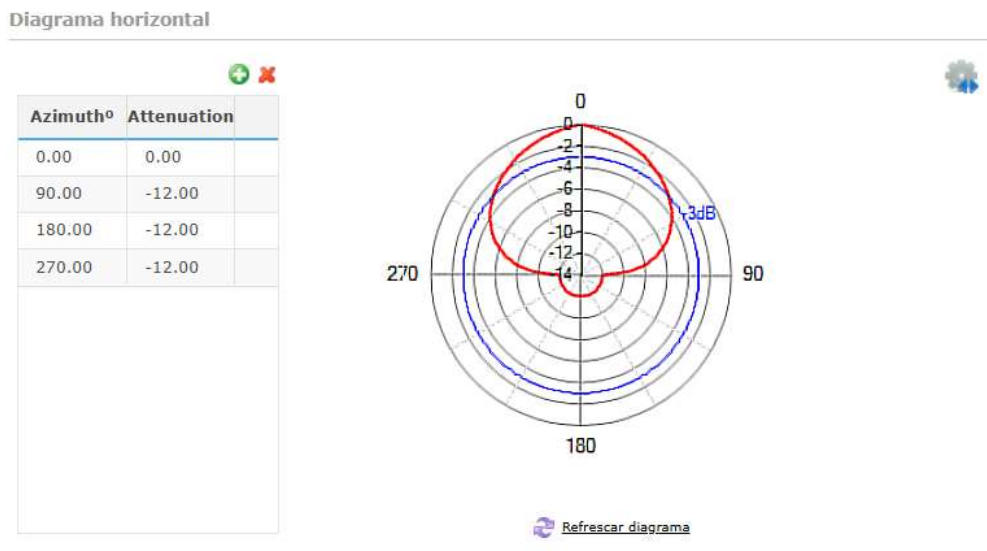


Figura 15. Diagrama de radiación en Xirio Online

3.12 Modelos de propagación

El análisis y predicción de la cobertura radioeléctrica demandan una evaluación rigurosa de su infraestructura subyacente, por consecuencia la predicción precisa de la propagación de señales se erige como una herramienta fundamental para optimizar la cobertura geográfica. La ARCOTEL mediante el documento Bases para la adjudicación de frecuencias del espectro radioeléctrico por proceso público competitivo para la operación de medios de comunicación social privados y comunitarios de los servicios de radiodifusión sonora de señal abierta en frecuencia modulada analógica, excepto estaciones de baja potencia publicada el 15 de mayo de 2020, en el ítem 1.41.1 Criterios de evaluación de Información

Técnica – Medios PRIVADOS o COMUNITARIOS da a conocer dentro de los parámetros que: “La ARCOTEL realizará la simulación correspondiente utilizando los modelos de propagación Longley-Rice y UIT-R P.1546, en función de los datos proporcionados en el estudio técnico.” [62].

Reconociendo los modelos Longley-Rice y UIT-R P.1546 para simulaciones oficiales dentro del país y utilizados en este proyecto:

3.12.1 Modelo UIT-R P.1546-6

El modelo UIT-R P.1546-6 utilizado en esta investigación para el análisis de TDT, establece métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 4 000 MHz, publicado en octubre de 2019, donde se presenta este método para el análisis de enlaces radioeléctricos troposféricos en trayectos terrestres, marítimos o combinados, con longitudes entre 1 y 1000 km y alturas efectivas de antena transmisora inferiores a 3000 m. Su principio fundamental consiste en interpolar o extrapolar curvas empíricas de intensidad de campo, las cuales dependen de variables clave como la distancia, la altura de la antena, la frecuencia y el porcentaje de tiempo considerado. El procedimiento incorpora además correcciones específicas a los resultados interpolados, con el fin de modelar con precisión los efectos del relieve del terreno y la posible obstrucción, dentro de su normativa tenemos [63].

El marco regulatorio de esta recomendación se estructura a través de varios anexos. El anexo 1 destaca el uso de curvas de propagación empíricas obtenidas para frecuencias nominales de referencia, la definición de intensidad de campo máximas y la importancia de la altura efectiva de la antena transmisora sobre el terreno circundante. El anexo 3 proporciona las curvas base para la gama de frecuencias de 300 a 1000 MHz, utilizando la frecuencia de 600 MHz como referencia principal mostradas en figura 16.

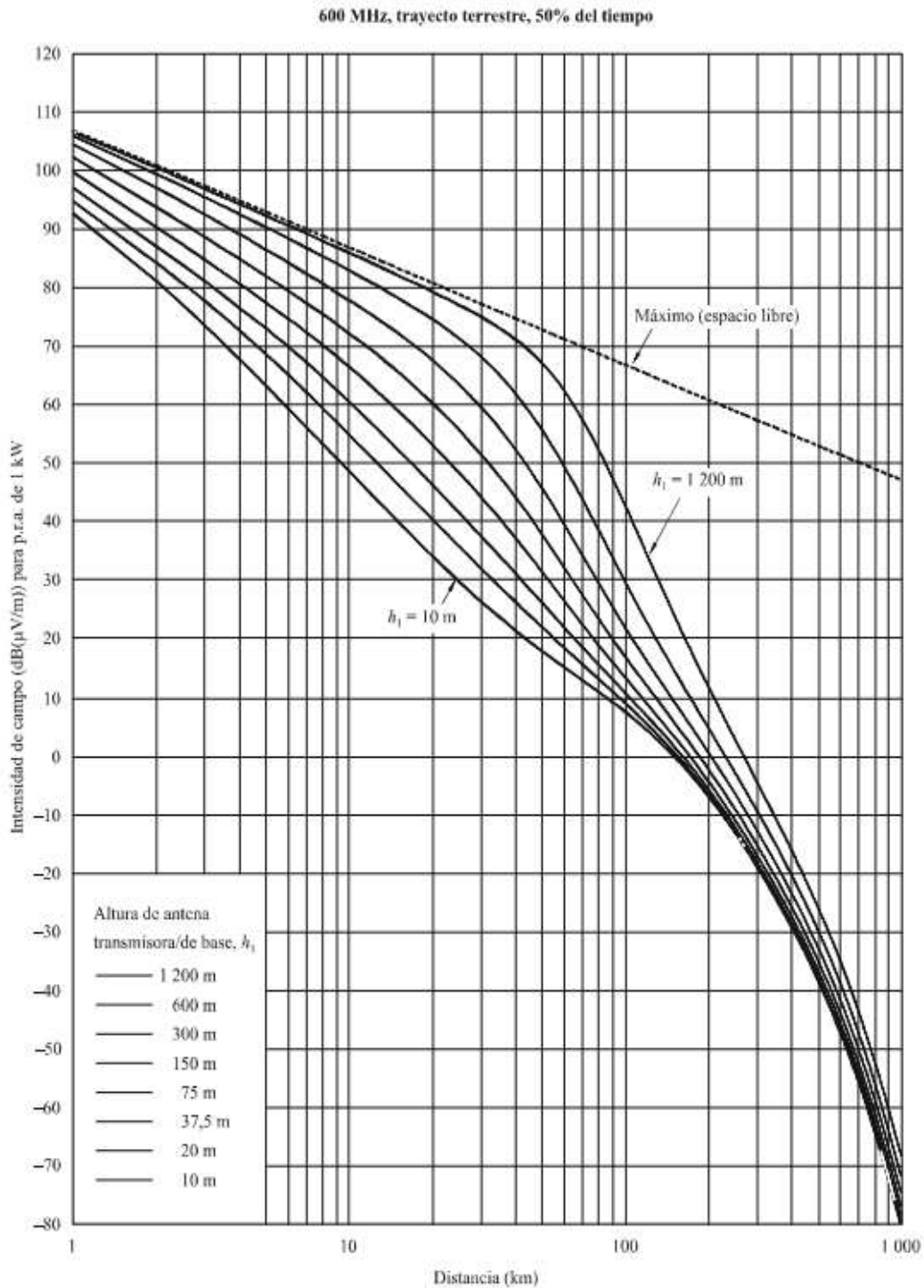


Figura 16. 600 MHz, trayecto terrestre, 50% del tiempo [63]

El proceso de adaptar estas curvas de referencia a una frecuencia específica de operación se detalla en el anexo 5. Este establece un procedimiento formal de interpolación y extrapolación en frecuencias, mediante la ecuación:

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

Donde:

- **f**: frecuencia para la que se requiere la predicción (MHz)
- **finf**: frecuencia nominal inferior (100 MHz si $f < 600$ MHz, si no 600 MHz)
- **fsup**: frecuencia nominal superior (600 MHz si $f < 600$ MHz, si no 2 000 MHz)
- **Einf**: valor de la intensidad de campo para finf
- **Esup**: valor de la intensidad de campo para fsup.

La aplicación sistemática del modelo se guía por el anexo 6. El cual define los parámetros de entrada necesarios y sus respectivos límites de validez, como se resume en la tabla 24:

Parámetro	Definición	Límites
f (MHz)	Frecuencia de funcionamiento	30 – 4 000 MHz
d (km)	Longitud del trayecto horizontal	No mayor de 1 000 km
p (%)	Porcentaje de tiempo	1 – 50%
h i (m)	Altura de la antena transmisora/de base según referencia en curvas	Terrestre: Sin límite inferior; límite superior de 3 000 m. Marítimo: Mín. 1 m; límite superior de 3 000 m.
h a (m)	Altura de la antena transmisora por encima del	Mayor que 1 m
h b (m)	Altura de la antena de base por encima del nivel medio del terreno entre 0,2 d y d km ($d < 15$ km y con información de terreno).	Ninguno (solo aplica en trayectos terrestres con $d < 15$ km)
h 2 (m)	Altura de la antena receptora/móvil por encima del terreno.	Terrestre: Mín. 1 m, y $< 3 000$ m. Marítimo: Mín. 3 m, y $< 3 000$ m.
R 1 (m)	Altura representativa del obstáculo (en torno al transmisor)	Ninguno
R 2 (m)	Altura representativa del obstáculo (en torno al receptor)	Ninguno
θ (grados)	Ángulo libre de obstáculos del terreno	0,55 a 40 grados
θ e (grados)	Ángulo efectivo de despejamiento del terreno de la estación transmisora/de base.	Debe ser positivo

Tabla 24. Lista de los parámetros de entrada y de sus límites [63].

Finalmente, es importante destacar que la versión P.1546-6 (2019) representa una evolución significativa frente a sus predecesoras, como se compara en la tabla 25.

Aspecto	P.1546 (versiones previas)	P.1546-6
Año	Hasta 2013	2019
Rango de aplicación	Limitado y menos detallado	30–4 000 MHz completo
Procedimiento paso a paso	Parcial	Definido explícitamente (Anexo 6)
Correcciones por clutter	Básicas	Mejoradas y detalladas
Trayectos mixtos	Simplificados	Interpolación avanzada (Anexo 5)
Uso institucional	Referencial	Estándar vigente UIT y reguladores
Aplicación en TDT	Limitada	Optimizada para planificación TDT

Tabla 25. Comparación de las versiones del modelo UIT-R P.1546

3.12.2 Modelo de IPTV

En el caso de IPTV, los modelos de propagación tradicionales se sustituyen por un modelo de desempeño de red, el cual fue implementado mediante la simulación de la extensión de nodos GPON. Este modelo permitió analizar el comportamiento del servicio ante distintos escenarios de cobertura, replicando condiciones de la red y evaluando su capacidad de expansión. La validez del modelo se sustenta en las recomendaciones de la UIT-T sobre desempeño de redes IP y calidad de servicio, las cuales establecen los parámetros técnicos que determinan la cobertura efectiva del servicio IPTV [64].

3.12.3 Modelo Longley-Rice o ITS Irregular Terrain Mode (ITM).

Para la evaluación de la cobertura de internet móvil LTE AWS para el servicio de OTT, se empleó el modelo de propagación ITS Irregular Terrain Model que permite estimar la atenuación media de la señal respecto al espacio libre, tomando en consideración los efectos de difracción, reflexión y dispersión troposférica, dentro de sus normativas tenemos [65]: La aplicación de este modelo requiere varios parámetros de entrada, los cuales se categorizan y limitan conforme a su diseño, tal como se presenta en la tabla 26:

Categoría	Parámetro	Rango / Opciones
Parámetros del Sistema	Frecuencia	20 MHz a 20 GHz
	Distancia	1 km a 2000 km
	Alturas de antena	0,5 m a 3000 m
	Polarización	Vertical u Horizontal
Parámetros Ambientales	Parámetro de irregularidad del terreno, Δh	(No se indica rango específico aquí)
	Constantes eléctricas del terreno	(No especificadas)
	Refractividad superficial	250 a 400 N-units
	Clima	Uno de siete (ver Tabla 4)
Parámetros de Despliegue	Criterios de ubicación	Aleatorio, Cuidadoso, o Muy Cuidadoso
Parámetros Estadísticos	Fiabilidad y nivel de confianza	0,1% a 99,9%

Tabla 26. Parámetros de entrada del modelo ITS junto con los límites de diseño originales [65].

Entre los parámetros ambientales principales se cuenta con el parámetro de irregularidad del terreno Δh , que es el encargado de cuantificar la rugosidad del relieve entre transmisor y receptor, como se detalla en la tabla 27:

Tipo de Terreno	Δh (metros)
Llano (o agua tranquila)	0
Llanuras	30
Colinas	90
Montañas	200
Montañas escarpadas	500
Para un terreno promedio, se recomienda usar $\Delta h = 90$ m.	

Tabla 27. Valores sugeridos para el parámetro de irregularidad del terreno [65].

El segundo parámetro clave es el tipo de clima que junto con la refractividad superficial (N_s), caracterizan las condiciones atmosféricas que afectan a la curvatura de la trayectoria de la señal. El modelo reconoce siete climas como se muestra en la tabla 28:

Tipo de Clima (Ejemplo)	N (N-units)
Ecuatorial (Congo)	360
Subtropical Continental (Sudán)	320
Subtropical Marítimo (Costa Oeste de África)	370
Desértico (Sahara)	280
Templado Continental	301
Templado Marítimo, sobre tierra (Reino Unido y costas occidentales continentales)	320
Templado Marítimo, sobre mar	350
Para condiciones atmosféricas promedio, se recomienda usar un clima Templado Continental con N = 301 N-units.	

Tabla 28. Climas de radio y valores sugeridos para Ns [65].

3.13 Optimización de la cobertura

La optimización de la cobertura y calidad del servicio se abordó mediante el ajuste de la altura de las antenas transmisoras, seleccionada como variable principal de optimización debido a su influencia directa en los modelos de propagación utilizados y a su viabilidad técnica dentro del alcance del estudio.

3.13.1 Optimización de la cobertura en TDT

Para el sistema de TDT se consideró una altura de 35 m hasta los 55 m con saltos de 2 m correspondiente a la infraestructura ubicada en el cerro Pichincha. De acuerdo con el modelo ITU-R P.1546 la altura efectiva de la antena transmisora influye directamente en el nivel de campo eléctrico recibido, permitiendo una mayor extensión del área de cobertura y una reducción de las pérdidas asociadas.

La optimización se realizó mediante la evaluación comparativa de diez escenarios analizando la variación de la cobertura al mantener constantes el resto de los parámetros técnicos y modificar únicamente la altura permitiendo ver el impacto de esta variable como se estima en las tablas 29 y 30.

Parámetro	Valor
Modelo	Kathrein 4DR-16-2HN
Potencia	500 W
Ganancia	17 dBd
Polarización	Horizontal
Impedancia	50 Ω
Dimensión	4953 mm
Pérdida de feeder	2 dB
Tilt mecánico inicial	-2°
Altura	30 m

Tabla 29. Parámetros técnicos de la antena altura de 30 m

Parámetro	Valor
Modelo	Kathrein 4DR-16-2HN
Potencia	500 W
Ganancia	17 dBd
Polarización	Horizontal
Impedancia	50 Ω
Dimensión	4953 mm
Pérdida de feeder	2 dB
Tilt mecánico inicial	-2°
Altura	5 m

Tabla 30. Parámetros técnicos de la antena altura de 55 m.

3.13.2 Optimización de la cobertura de IPTV

La optimización de la cobertura IPTV se planteó a partir del modelo base de la red GPON simulada, mediante la extensión progresiva de la fibra óptica y la incorporación de nuevos nodos de acceso en zonas con cobertura limitada o inexistente. Esta estrategia permite incrementar la cobertura efectiva del servicio sin comprometer la calidad, al mantener los parámetros de desempeño establecidos por la normativa UIT-T y la regulación nacional. La ampliación de la infraestructura se considera sostenible desde el punto de vista técnico y normativo, al apoyarse en estándares internacionales y en las disposiciones vigentes para el despliegue de redes fijas de telecomunicaciones.

3.13.3 Optimización de la cobertura de OTT

Para el análisis de los servicios de OTT se consideró la altura total de 12 m hasta 32 m como se visualiza en las tablas 31 y 32 con saltos de 2 m, en el modelo ITS ITM la altura de la antena constituye un parámetro determinante para la estimación de la atenuación y la variabilidad principalmente en entornos urbanos.

La optimización se orientó a mejorar la propagación de la señal por encima de obstáculos locales, reducir zonas de sombra y aumentar la confiabilidad espacial del servicio.

Parámetro	Valor
Modelo	RF X-TREME APXVBLL15X-Ci20
Potencia	300 W
Ganancia	16.9 dBi
Polarización	Cruzada
Impedancia	50 Ω
Dimensión	1390 mm
Pérdida de feeder	2 dB
Tilt mecánico inicial	-2°
Altura	3 m
Altura de Edificio	9 m

Tabla 31. Parámetros técnicos de la antena altura de 12 m.

Parámetro	Valor
Modelo	RF X-TREME APXVBLL15X-Ci20
Potencia	300 W
Ganancia	16.9 dBi
Polarización	Cruzada
Impedancia	50 Ω
Dimensión	1390 mm
Pérdida de feeder	2 dB
Tilt mecánico inicial	-2°
Altura	7 m
Altura de Edificio	25 m

Tabla 32. Parámetros técnicos de la antena altura de 32 m.

3.14 Validación de los resultados

La validación de los resultados obtenidos en la simulación de cobertura se realizó mediante un enfoque indirecto, basado en recomendaciones internacionales de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles 3GPP, ampliamente utilizadas en estudios de análisis de infraestructura de telecomunicaciones [66], [67].

3.14.1 Validación de cobertura de TDT

La validación de la cobertura del sistema de Televisión Digital Terrestre se realizó empleando el modelo de propagación ITU-R P.1546, recomendado para la planificación de servicios de radiodifusión en bandas VHF y UHF. Este modelo permite estimar el nivel de señal en un área geográfica determinada, a partir de los parámetros de la estación transmisora y de las condiciones del entorno.

En las tablas 33 y 34 se detallan los rangos de niveles y las condiciones de operación que e acuerdo con la recomendación ITU-R BT.1368 y las ITU-R BT.1306, la calidad del servicio en TDT puede evaluarse a partir de la probabilidad de recepción correcta de las tramas digitales, la cual depende directamente del nivel de señal disponible. Cuando dicho nivel supera el umbral de planificación, el sistema opera en condiciones cuasi libres de errores (QEF), garantizando la disponibilidad del [66].

Nivel de señal	Rango de señal estimado (dBm)	Interpretación técnica
Alto	≥ -80	Cobertura adecuada
Medio	-100 a -80	Cobertura limitada
Bajo	< -100	Cobertura deficiente

Tabla 33. Clasificación de niveles de señal [66]

Nivel de señal	Rango (dBm)	Condición técnica	Tramas MPEG-TS
Alto	≥ -80	QEF ($BER \leq 10^{-11}$)	≈ 100 % correctas
Medio	-100 a -80	BER residual	95–99 % correctas
Bajo	< -100	BER elevado	< 90 % correctas

Tabla 34. Calidad de servicio en base a los niveles de señal [67].

3.14.2 Validación de cobertura de IPTV

La validación del servicio de IPTV se realizó mediante la evaluación de parámetros de calidad del servicio que influye directamente en la transmisión de flujos de videos sobre

redes IP, en redes GPON, estos parámetros dependen de la capacidad del enlace como lo recomienda la ITU-T G.984, ITU-T Y.1541 e ITU-T G.1080.

Según la recomendación de la ITU-T G.984 la infraestructura GPON debe proporcionar el ancho de banda necesario para soportar IPTV permitiendo la transmisión simultánea de múltiples flujos de video [68].

En la tabla 35 se detalla los rangos que de acuerdo con la Recomendación ITU-T Y.1541 establece valores umbral para el retardo, la variación del retardo (jitter) y la pérdida de paquetes, parámetros que resultan críticos para aplicaciones en tiempo real como IPTV. El incumplimiento de estos límites puede generar degradaciones perceptibles en la calidad del video, tales como interrupciones, pixelación o pérdida de sincronización [64].

Adicionalmente, en la tabla 36 se especifica la calidad de servicio con la Recomendación ITU-T G.1080 relaciona dichos parámetros de red con la calidad de experiencia (QoE) percibida por el usuario final, permitiendo clasificar el servicio en distintos niveles de calidad en función de su desempeño [69].

errores (QEF), garantizando la disponibilidad del servicio [66].

Nivel de señal	Retardo (ms)	Interpretación técnica
Alto	< 150	Cobertura adecuada
Medio	150 – 300	Cobertura limitada
Bajo	> 300	Cobertura deficiente

Tabla 35. Clasificación de niveles de señal [64].

Nivel de servicio	Retardo (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes (%)
Alto	< 150	< 30	< 0.1
Medio	150 – 300	30 – 50	0.1 – 1
Bajo	> 300	> 50	> 1

Tabla 36. Calidad de servicio en base a los niveles de señal [69].

3.14.3 Validación de cobertura de OTT

Para los servicios de OTT soportados sobre redes móviles LTE, la validación de la cobertura se fundamentó en las recomendaciones del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles 3GPP, particularmente en el parámetro Reference Signal Received Power (RSRP), la cual se detalla en las tablas 37 y 38 permitiendo evaluar la disponibilidad del enlace radioeléctrico desde el punto de vista de la infraestructura de transmisión [67].

Nivel de señal	RSRP (dBm)	Interpretación técnica
Alto	≥ -100	Cobertura adecuada
Medio	-120 a -100	Cobertura limitada
Bajo	< -120	Cobertura deficiente

Tabla 37. Clasificación de niveles de señal [67].

Nivel de cobertura	RSRP (dBm)	RAB típico soportado	Paquetes estimados
Alta	≥ -100	≥ 64 kbps	10–20 paquetes/s
Media	-120 a -100	8–32 kbps	2–4 paquetes/s
Baja	< -120	< 8 kbps	≤ 1 paquete/s

Tabla 38. Calidad de servicio en base a los niveles de señal [67].

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la modelación de cobertura de los sistemas

La modelación de la cobertura de los sistemas de TDT, IPTV y OTT se realizó en el software Xirio Online, para TDT y OTT se consideraron diferentes alturas de los sistemas de transmisión con el objetivo de evaluar su influencia en la distribución espacial de los niveles de señal mientras que para IPTV se consideró nodos de acceso para la prestación de servicios. El procesamiento y análisis de los resultados se realizó mediante el software QGIS donde se cuantificaron las áreas correspondientes a cada nivel de cobertura.

Los resultados de la modelación permitieron identificar zonas con distintos niveles de señal, los cuales fueron clasificados en categorías que representan condiciones de señales: cobertura deficiente, cobertura limitada y cobertura adecuada. Esta clasificación facilitó el análisis del comportamiento de la cobertura en función de la infraestructura de transmisión, así como la identificación de áreas con cobertura funcional para la transmisión de contenidos.

Los mapas de cobertura generados para cada sistema analizado se presentan en los Anexos.

4.2 Análisis estadístico

A partir de la información obtenida en la modelación de cobertura, se realizó un análisis estadístico de tipo descriptivo y relacional, con el propósito de evaluar la influencia de la infraestructura de transmisión sobre los niveles de cobertura obtenidos.

4.2.1 Análisis estadístico de TDT

En la Tabla 39 se presentan los resultados estadísticos resumidos del análisis de cobertura, donde se incluyen los porcentajes de área para cada nivel de señal en función de la altura analizada.

Altura (m)	Banda 1 Rojo (%)	Banda 2 Verde (%)	Banda 3 Azul (%)	Resto de área%
35	13,5	2,86	5,58	78,06
37	13,06	3,24	5,42	78,28
39	6,75	6,87	3,67	82,71
41	6,86	7,14	3,27	82,73

43	6,77	7,2	3,33	82,7
45	6,73	7,38	3,24	82,65
47	6,73	7,52	3,15	82,6
49	6,71	7,75	2,9	82,64
51	6,79	7,96	2,57	82,68
53	6,69	8,05	2,98	82,28
55	6,57	8,08	2,99	82,36

Tabla 39. Cobertura del sistema TDT

La figura 17(a) muestra la relación entre la altura del sistema de transmisión y el porcentaje de cobertura correspondiente a la banda verde, la cual representa un nivel de señal de cobertura adecuada asociado a condiciones de transmisión estable. Se observa una tendencia creciente claramente definida, lo que indica que el incremento de la altura del sistema transmisor favorece el aumento del área cubierta con niveles de señal adecuados.

En la figura 17(b) se presenta la relación entre la altura del sistema de transmisión y el porcentaje de cobertura correspondiente a la banda azul, asociada a niveles de señal de cobertura limitada. A diferencia de la banda verde, se observa una tendencia decreciente conforme aumenta la altura del sistema transmisor.

La figura 17(c) representa la relación entre la altura del sistema de transmisión y el porcentaje de cobertura correspondiente a la banda roja, la cual caracteriza zonas con niveles de cobertura deficiente. Se observa que, a partir de una determinada altura, el porcentaje de área correspondiente a esta banda se mantiene relativamente constante y en valores reducidos.

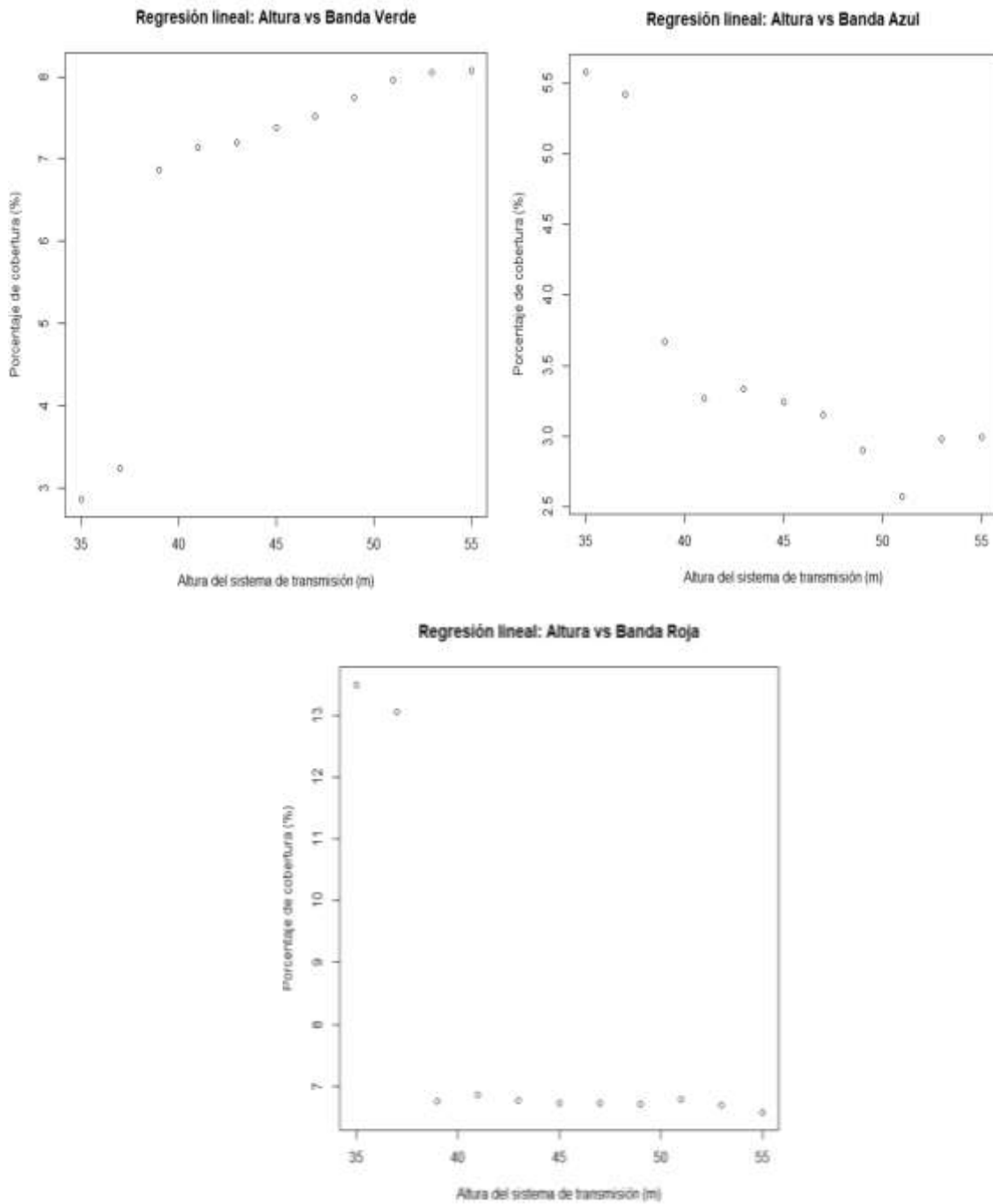


Figura 17. a) Regresión lineal área de cobertura adecuada. b) Regresión lineal área de cobertura limitada. c) Regresión lineal área de cobertura deficiente

4.2.2 Análisis estadístico de IPTV

En la Tabla 40 se presentan los resultados estadísticos resumidos del análisis de cobertura, donde se incluyen los porcentajes de área para cada modo de red propuesto.

Nodos (#)	Banda Verde (%)	Resto de área%
1	1,55	98,45
2	1,58	98,42
3	1,58	98,42
4	1,6	98,4
5	1,63	98,37

Tabla 40. Cobertura de la red GPON para IPTV

La figura 18 muestra la relación entre el número de nodos de acceso implementados en la red GPON y el porcentaje de cobertura correspondiente a la banda verde, la cual representa un nivel de señal medio asociado a condiciones de transmisión funcional para el servicio IPTV. Se observa una tendencia creciente aproximadamente lineal, lo que indica que el incremento del número de nodos contribuye de manera positiva a la expansión del área con cobertura efectiva.

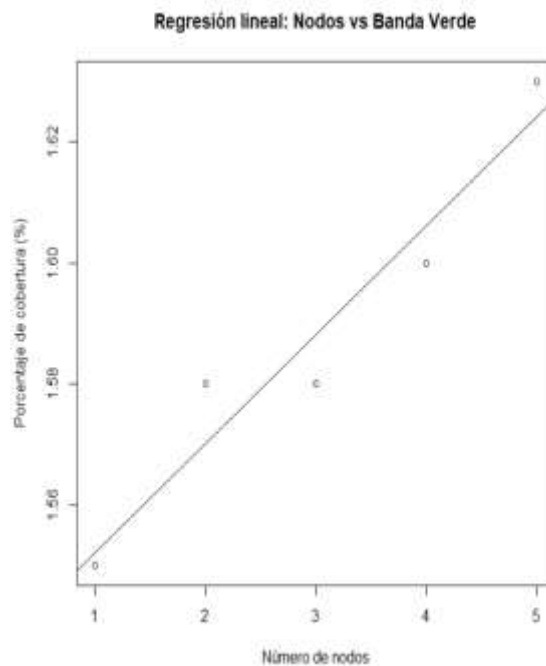


Figura 18. Regresión lineal de la cobertura de la red GPON

4.2.3 Análisis estadístico de OTT

En la Tabla 40 se presentan los resultados estadísticos resumidos del análisis de cobertura, donde se incluyen los porcentajes de área para cada nivel de señal en función de la altura analizada para las radio-bases de internet móvil.

Altura (m)	Banda 1 Rojo (%)	Banda 2 Verde (%)	Banda 3 Azul (%)	Resto de área%
12	0	1,55	0,61	97,84
14	0	1,57	0,34	98,09
16	0	1,58	0,33	98,09
18	0	1,58	0,37	98,05
20	0	1,58	0,34	98,08
22	0	1,58	0,04	98,38
24	0	1,6	0,1	98,3
26	0	1,6	0,1	98,3
28	0	1,62	0,12	98,26
30	0	1,63	0,05	98,32
32	0	1,66	0,05	98,29

Tabla 41. Cobertura de internet móvil para servicio de OTT

La Figura 19(a) evidencia una tendencia positiva entre la altura de la radiobase y el porcentaje de cobertura adecuada (banda verde). A medida que se incrementa la altura del sistema de transmisión, se observa un aumento progresivo del área con niveles de retardo bajos, lo que indica una mejor calidad de servicio para aplicaciones OTT como streaming de video, plataformas bajo demanda y servicios interactivos. Este comportamiento se explica por la mejora en la propagación de la señal radioeléctrica, ya que mayores alturas reducen el efecto de obstáculos urbanos y pérdidas por difracción, optimizando el enlace descendente (downlink) característico del tráfico OTT. En consecuencia, el incremento de la altura de las radiobases contribuye directamente a una experiencia de usuario más estable y continua.

En la Figura 19(b) se observa una tendencia decreciente del porcentaje de cobertura limitada (banda azul) conforme aumenta la altura del sistema de transmisión. Esto indica que, al elevar las radiobases, una parte significativa de las zonas con retardo medio migra hacia condiciones de cobertura adecuada.

La Figura 19(c) muestra un comportamiento prácticamente constante y cercano a cero en el porcentaje de cobertura deficiente (banda roja), independientemente de la altura de las radiobases. Este resultado indica que las zonas con altos retardos son mínimas o inexistentes dentro del escenario simulado.

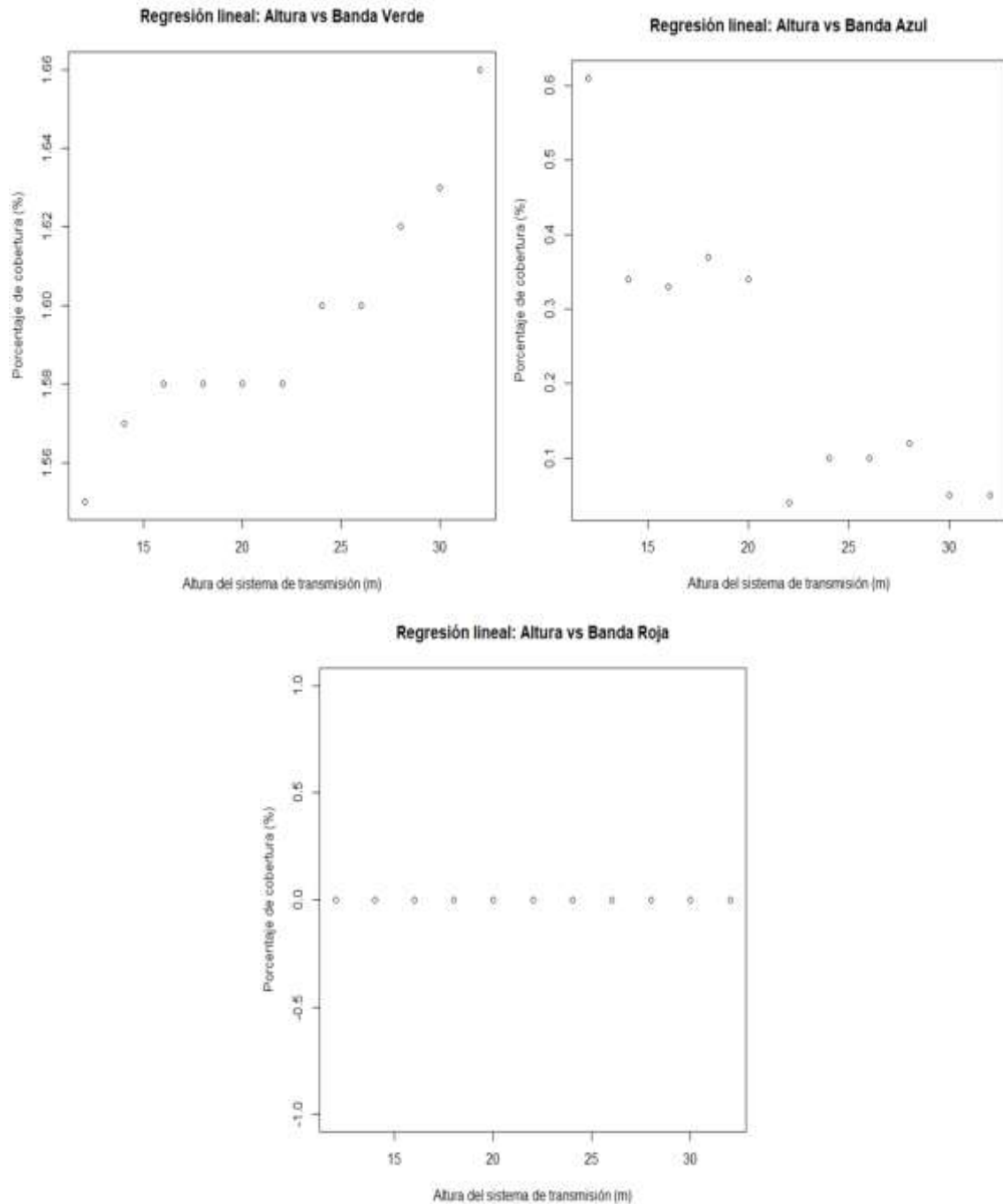


Figura 19. a) Regresión lineal área de cobertura adecuada. b) Regresión lineal área de cobertura limitada. c) Regresión lineal área de cobertura deficiente

4.3 Análisis de sensibilidad de parámetros

La presente investigación integra parámetros técnicos críticos en la planificación de redes de radiodifusión, tales como la altura efectiva de las torres, los niveles de potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) y la geolocalización estratégica de los centros emisores. Asimismo, se incorporan variables fundamentales de las redes de telecomunicaciones, incluyendo la densidad de nodos de acceso y la arquitectura de los puntos de interconexión.

A partir de las simulaciones ejecutadas, en las cuales se manipula la altura efectiva de los sistemas radiantes para TDT y OTT, y se modela la densificación de nodos de acceso para IPTV, se generan diversos escenarios que permiten evaluar la variabilidad de la huella de cobertura y la intensidad de campo electromagnético en la provincia de Pichincha.

En el sistema TDT, los resultados evidencian que la altura de las torres transmisoras influye directamente en la cobertura, debido a la mejora en la propagación en condiciones de trayectoria de línea de vista (LOS) y la reducción de atenuaciones provocadas por la topografía del terreno.

En el caso de IPTV cuya infraestructura principal corresponde a redes de internet fijo se evidencio que el incremento en el número de nodos de acceso permite ampliar la cobertura del servicio, evidenciando que la densificación de red es un factor determinante para mejorar la disponibilidad del servicio.

Para el servicio de OTT que no cuenta con infraestructura física propia, pero se apoya principalmente de red de internet móvil, se observa que el aumento en la altura de las radiobases mejora la cobertura, al optimizar la propagación en condiciones de línea de vista y reducir las pérdidas por difracción y obstrucción.

4.4 Discusión de los resultados obtenidos

Los resultados obtenidos a partir de las simulaciones permitieron analizar el comportamiento de la cobertura y la calidad del servicio en redes de telecomunicaciones en función de su estructura.

En caso de TDT los resultados evidencian que la cobertura está condicionada por parámetros físicos como la altura de las torres y la distribución geográfica de las estaciones, el análisis estadístico mostro que al incremental la altura de las antenas transmisoras de 35 m a 55m, el área de cobertura con nivel de señal alto aumento de 2.86% a 8.08%, mientras el área de cobertura con nivel de señal media disminuyo de 5.58% a 2.99%, y el área de cobertura con nivel de señal baja disminuyo de 13.5% a 6.57, permitiendo mejorar la disponibilidad del servicio en zonas que inicialmente presentaban niveles de señal insuficientes. No obstante, los resultados también evidencian la existencia de zonas de sombra o cobertura limitada, lo que confirma que la infraestructura actual, aunque funcional, requiere ajustes en la planificación de torres o la implementación de estaciones.

En el caso de IPTV que necesita de redes de alta velocidad como redes GPON, los resultados demuestran que la incorporación de nodos de acceso tiene un impacto directo positivo en la expansión del servicio, el análisis estadístico muestra que al aumentar el número de nodos

de red de 1 a 5 el área de cobertura con funcional se incrementa de 1.55% a 1.63%, evidenciando que se necesita de la extensión de redes GPON para la transmisión de contenidos audiovisuales de calidad.

Respecto al servicio OTT soportado por redes de banda ancha móvil LTE 4G, los resultados demuestran que la elevación de las estaciones base incide directamente en la extensión de la cobertura. Mediante simulaciones de propagación, se determina que al incrementar la altura de las radiobases de 12 m a 35 m, la superficie con niveles de señal de alta calidad se expandió del 1.55% al 1.66%, mientras que el área de cobertura con nivel de señal medio disminuyó de 0.61% a 0.05%, este comportamiento se explica por la mejora en la propagación de la señal radioeléctrica a mayores alturas, lo que permite reducir el impacto de obstáculos urbanos y mejorar la calidad del enlace descendente utilizado en servicios de streaming y plataformas digitales.

La evidencia experimental indica que el ajuste de parámetros críticos, incluyendo la altura de las antenas y la densidad de nodos, optimiza significativamente la cobertura geográfica. Estos resultados subrayan la relevancia de la planificación de red en la mejora de la disponibilidad del servicio.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El análisis de la infraestructura y cobertura de los sistemas TDT, IPTV y OTT en la provincia de Pichincha permitió evidenciar que el desempeño de cada tecnología depende de la planificación y características de sus sistemas de transmisión.

Para TDT los resultados muestran que existe zonas de cobertura limitada, principalmente en áreas geográficas irregulares.

Para IPTV se evidencio que la incorporación progresiva de redes de alta velocidad como las redes GPON, permiten mejorar la cobertura y acceso a este tipo de servicios.

El servicio de OTT, son de los sistemas con mayor incremento en los últimos años, debido al aumento internet móvil como el LTE 4G, los resultados indican que el incremento de altura de las radiobases permite maximizar las áreas con cobertura adecuada.

De manera general, se concluye que no existe una solución única de infraestructura que optimice simultáneamente TDT, IPTV y OTT; por el contrario, cada tecnología requiere estrategias de optimización específicas, acordes a sus principios de funcionamiento y a los requisitos de calidad del servicio.

5.2 Recomendaciones

Para la Televisión Digital Terrestre, se sugiere evaluar la implementación de torres complementarias o repetidores en zonas con cobertura limitada, especialmente en regiones con condiciones geográficas complejas, a fin de mejorar la continuidad del servicio.

En redes IPTV, se recomienda priorizar la expansión de la red GPON mediante nodos de acceso, considerando criterios de densidad poblacional y demanda de tráfico, con el objetivo de reducir retardos y mejorar la calidad del servicio.

Para los servicios OTT sobre redes móviles, se aconseja optimizar la ubicación y altura de las radiobases LTE, así como evaluar la migración progresiva hacia tecnologías de nueva generación que permitan mayores capacidades y menores latencias.

Se recomienda complementar futuros trabajos con mediciones de campo, que permitan validar los resultados obtenidos mediante simulación y fortalecer la precisión del análisis de cobertura.

Finalmente, se sugiere ampliar el alcance de la investigación incorporando el análisis de nuevas tecnologías de acceso y transmisión, como redes 5G y sistemas híbridos, con el fin de evaluar su impacto en la evolución de los servicios audiovisuales en el Ecuador.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «Telefonía fija Audio-Video por suscripción y Radio-TV», ARCOTEL, Ecuador, Boletín Estadístico del Sector de Telecomunicaciones 14, mar. 2015.
- [2] «Plan Maestro De Transición a La Televisión Digital Terrestre», Viceministerio de Tecnologías de la Información y Comunicación, Quito, ago. 2018.
- [3] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «Número de Estaciones Concesionadas de TV Abierta Analógica y TDT 2025», ARCOTEL, Ecuador, Infraestructura, feb. 2025.
- [4] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «Reporte Estadístico Mensual Agosto 2024», ARCOTEL, Ecuador, Boletín Estadístico del Sector de Telecomunicaciones 08, sep. 2024.
- [5] A. K. Freire Chinachi, «Diseño Del Servicio De Iptv Sobre La Infraestructura Gpon De La Olt Riobamba Centro Para La Prestacion De Servicio De Video Por Suscripcion De La Cnt Ep Chimborazo», Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2019.
- [6] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «Reporte Estadístico Mensual Febrero 2025», ARCOTEL, Ecuador, Boletín Estadístico del Sector de Telecomunicaciones 02, mar. 2025.
- [7] «INEC ESTIMA QUE, SEGÚN PROYECCIONES EN EL MEDIANO PLAZO, ECUADOR TENDRÁ MÁS ADULTOS MAYORES, MENOS NIÑOS Y ADOLESCENTES EN 2050 – Instituto Nacional de Estadística y Censos». Accedido: 28 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/ecuador-tendra-mas-adultos-mayores-menos-ninos-y-adolescentes-en-2050/>
- [8] MENTINNO, «Estado Digital Ecuador Octubre 2024», MENTINNO, oct. 2024.
- [9] G. D. Castellanos Tache y G. Teuta Gómez, *Modelo metodológico para la coexistencia de las señales de TDT y LTE*. Corporación Universitaria Remington, 2018. Accedido: 11 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/unachecuador/68905>
- [10] «DTMB, ATSC, ISDB-T y DVB-T: por qué cada país usa un estándar de TDT», ADSLZone. Accedido: 11 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/noticias/streaming-tv/dtmb-atsc-isdb-t-dvb-t-motivo-estandares-tdt/>

- [11] «Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.pdf». Accedido: 11 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300700_300799/300744/01.06.01_60/en_300744v010601p.pdf
- [12] «TS 102 773 - V1.4.1 - Digital Video Broadcasting (DVB); Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)».
- [13] P. F. Sotomayor Jácome, «Análisis de los estándares de televisión digital terrestre (TDT) y pruebas de campo utilizando los equipos de comprobación técnica de la Superintendencia de Telecomunicaciones», bachelorThesis, QUITO/ EPN/ 2009, 2009. Accedido: 13 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1159>
- [14] «TRANSMISSION SYSTEM FOR DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION BROADCASTING ARIB STANDARD».
- [15] C. del Oso y L. Enrique, «Propuesta para la validación de la calidad del vídeo en el servicio de IPTV», Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. CUJAE, 2010. Accedido: 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/unachecuador/86030>
- [16] J. Torres y R. Ramirez, «Estado Del Arte De Iptv Y Consideraciones Técnicas Para Su Migración a Ipv6 En Colombia», vol. 2, pp. 45-64, may 2011.
- [17] L. E. Conde del Oso, «El Reto de la IPTV, experiencia del Piloto en Cuba y perspectivas», *ETECSA*, p. 7, 2007.
- [18] A. F. Modica Bareiro, «Regulación De Los Servicios Over-the-Top (ott) Audiovisual En Las Américas», ASIPI.
- [19] Muvi, «HLS vs WebRTC vs MSS vs MPEG-Dash: Which Live Streaming Protocol Is Best For Your Live Stream?», Muvi. Accedido: 25 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.muvi.com/blogs/hls-vs-webrtc-vs-mss-vs-mpeg-dash-which-live-streaming-protocol-is-better/>
- [20] «Generalidades del protocolo HTTP - HTTP | MDN». Accedido: 25 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP/Guides/Overview>
- [21] H.-S. Kim, I. Kim, K. Han, D. Kim, J.-S. Seo, y M. Kang, «An Adaptive Buffering Method for Practical HTTP Live Streaming on Smart OTT STBs», *KSII*, 3, mar. 2016.

- [22] «¿Qué es MPEG-DASH? | HLS vs. DASH». Accedido: 25 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cloudflare.com/es-es/learning/video/what-is-mpeg-dash/>
- [23] «¿Qué es WebRTC? Explicación de la tecnología de comunicación en tiempo real». Accedido: 25 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://trueconf.com/es-es/webrtc.html>
- [24] «Qué es CMAF y por qué es importante - Artículo de Divulgación - TSA». Accedido: 25 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.telefonicaserviciosaudiovisuales.com/articulos-de-divulgacion/que-es-cmaf-y-por-que-es-importante/>
- [25] «Qué es el HTTP: Futuro del protocolo **【HTTP/3 y QUIC】** ». Accedido: 25 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://axarnet.es/blog/http-futuro-http3-quic#http2-mejoras-en-la-eficiencia-y-velocidad>
- [26] D. D. Ahir y P. B. Kumbharkar, «Content Centric Networking and its Applications», 2012.
- [27] K. Skavish, «Guía completa sobre RTMP: ¿Qué es y cuándo utilizarlo?», Wave.video Blog: Latest Video Marketing Tips & News. Accedido: 25 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://wave.video/es/blog/rtmp-guide/>
- [28] B. Pabón, «Proyección De La Implementación De La Televisión Digital En El Ecuador Hacia El Apagón Analógico», Ecuador, Informe CITDT-GAE, jun. 2012.
- [29] ARCOTEL, «Norma Técnica De Radiodifusión De Televisión Digital Terrestre», ARCOTEL, Ecuador, Resolución 301, sep. 2015.
- [30] H. Pozo, «REGISTRO OFICIAL ÓRGANO DEL GOBIERNO DEL ECUADOR No. 579», p. 52.
- [31] «Norma Técnica Para Despliegue Y Tendido De Redes Físicas Soterradas». Accedido: 28 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/029_norma-tecnica-despliegue-redes-fisicas-servicios-telecomunicaciones.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [32] «Norma Técnica Para El Despliegue Y Tendido De Redes Físicas Aéreas De Servicios De Telecomunicaciones, Servicios Por Suscripción Y Redes Privadas». Accedido: 28 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/09/RESUMEN-DE-OBSERVACIONES-norma-ordenamiento-redes.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [33] «Norma Técnica Para Uso Compartido De Infraestructura Física De Los Servicios Del Régimen General De Telecomunicaciones». Accedido: 28 de mayo de 2025. [En línea].

Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/08/PROYECTO-NORMA-T%2B%C3%ABCNICA-COMPARTICI%2B%C3%B4N-INFRAESTRUCTURA.pdf?utm_source=chatgpt.com

[34] «Norma de Calidad para los Servicios de Telecomunicaciones». Accedido: 28 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2022/09/9._resumen_air_-_normadecalidad_publicacion_26ago22.pdf?utm_source=chatgpt.com

[35] E. Cadena, «IPTV- Internet Protocol Television», Ecuador, Nuevas Tecnologías, feb. 2010.

[36] «Boletin-cierre-2023_sz.pdf». Accedido: 1 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2024/09/Boletin-cierre-2023_sz.pdf?utm_source=chatgpt.com

[37] «FTTH». Accedido: 1 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.tutorialspoint.com/ftth/ftth_tutorial.pdf

[38] «Fiber to the home (FTTH) architecture overview». Accedido: 1 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/2597-ftth-architectures-wp-110964-en.pdf>

[39] N. V. O. Garzón, «Análisis De La Coexistencia De Las Tecnologías 4g Y 5g En El Ecuador».

[40] J. F. Lopez, «Resultados Mintel Diciembre».

[41] L. E. P. Yanza y F. C. Viliacís, «La convivencia de la tecnología 4G con 3G y 2G en Ecuador», *INVESTIGATIO*, n.º 6, Art. n.º 6, 2015, doi: 10.31095/investigatio.2015.6.1.

[42] J. R. Jácome, A. O. Pazmiño, J. J. Gavilanes, O. G. Martínez, y J. A. Ribadeneira, «Analysis of propagation models for digital terrestrial television (DTT), under the ISDB-Tb standard in cities of Ambato and Latacunga, Ecuador», *J. Sci. Res. Rev. Cienc. E Investig.*, vol. 3, n.º CITT2017, pp. 84-90, feb. 2018, doi: 10.26910/issn.2528-8083vol3issCITT2017.2018pp84-90.

[43] R. A. Egli Anfruns, S. N. Torres Inostroza, L. Pradenas, J. R. Perez Lopez, y J. Basterrechea Verdeja, «Maximizing Coverage of a Single Frequency Network for Digital Television Services», *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 10, n.º 4, pp. 1881-1888, jun. 2012, doi: 10.1109/TLA.2012.6272469.

[44] A. T. Liem, «A Novel Mechanism for Delivering IPTV Traffic in Ethernet Passive Optical Networks», *SISFOTENIKA*, vol. 6, n.º 2, jul. 2016, doi: 10.30700/jst.v6i2.110.

- [45] M. A. Qadeer y A. H. Khan, «Multimedia Distribution over IPTV and its Integration with IMS», en *2010 International Conference on Data Storage and Data Engineering*, Bangalore, India: IEEE, feb. 2010, pp. 101-105. doi: 10.1109/DSDE.2010.64.
- [46] «Análisis Comparativo Entre Las Redes 4G 5G Y Su Influencia En La Parroquia Urbana San Lorenzo Del Cantón Jipijapa.» [En línea]. Disponible en: https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2828/1/GUTIERREZ%20MIRANDA%20BETZABETH.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [47] W. A. S. Vera, «Impacto De Las Plataformas Over-The-Top (OTT) Sobre La Penetración Del Servicio De Audio Y video Por Suscripción En Las Ciudades De Quito Y Guayaquil Al Año 2019: Caso NETFLIX».
- [48] F. A. L. Gutama y M. G. O. Parra, «Comparative Study of Video Streaming Services: OTT AND IPTV», *Rev. Científica Interdiscip. Investig. Saberes*, vol. 12, n.º 2, pp. 70-84, jun. 2022.
- [49] K. A. C. Solis y K. A. T. Guzmán, «Estudio Y Diseño De Una Red Gpon Para Brindar Servicios De internet, Iptv Y Telefonía Para Las Comunidades De Saquisilí Y sus Alrededores».
- [50] J. C. F. Contreras y M. E. R. Orbe, «Propuesta De Servicio De Videovigilancia Sobre La plataforma Ott De Cine Cable Para Los Barrios De La ciudad De Tulcán».
- [51] S. Quito, R. Sebastian, y C. D. R. García, «Impacto De Los Sistemas TDT, IPTV Y OTT En Los Servicios De Difusión En la Provincia De Chimborazo a Través Del Análisis De La Regulación Y Políticas gubernamentales.».
- [52] D. M. Bonet, D. M. Michalis, y D. M. Ala-Fossi, «The Value and Contribution of Digital Terrestrial Television».
- [53] G. Giannakopoulos, P. Adegbenro, y M. A. Perez, «The Future of IPTV: Security, AI Integration, 5G, and Next Gen Streaming», 20 de marzo de 2025, *arXiv*: arXiv:2503.13450. doi: 10.48550/arXiv.2503.13450.
- [54] A. Polisetty, G. Sowmya, y S. Pahari, «Streaming Towards Innovation: Understanding Consumer Adoption of OTT Services Through IRT and TAM», *Cogent Bus. Manag.*, vol. 10, n.º 3, p. 2283917, dic. 2023, doi: 10.1080/23311975.2023.2283917.
- [55] «telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/07/RENDICION-DE-CUENTAS-2024-PRELIMINAR-VF_opt.pdf». Accedido: 31 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2025/07/RENDICION-DE-CUENTAS-2024-PRELIMINAR-VF_opt.pdf

[56] ARCOTEL, «Servicio Movil Avanzado», ARCOTEL, Estadístico.

[57] «Reglamento de Audio y Video por Suscripción». Accedido: 22 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2016/03/reglamento-de-audio-y-video-por-suscripcion.pdf>

[58] «Plan De La Sociedad De La Información y Del Conocimiento». Accedido: 24 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2018/11/Plan-de-la-Sociedad-de-la-Informacion-PSIC-20181026.pdf>

[59] P. Hugo, «Ley Organica de Telecomunicaciones», p. 40, feb. 2015.

[60] «Registro Oficial No. 536». Accedido: 25 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://esacc.corteconstitucional.gob.ec/storage/api/v1/10_DWL_FL/eyJjYXJwZXRhIjoicm8iLCJ1dWlkIjoiN2QyZTc4OWYtMWI1Yi00MzI3LTk1NDAtODgxMjdiZTU3NzkyLnBkZiJ9#page=1.42

[61] «Scala Kathrein Broadcast Brand».

[62] «Bases Para La Adjudicación De Frecuencias Del Espectro Radioeléctrico Por Proceso Público Competitivo Para La Operación De Medios De Comunicación Social Privados Y Comunitarios De Los Servicios De Radiodifusión Sonora De Señal Abierta En Frecuencia Modulada Analógica, Excepto Estaciones De Baja Potencia». Accedido: 27 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/actualizaci%C3%B3n_bases_15-05-2020_final_firmas_r-signed-signed-1-signed-1.pdf

[63] UIT, «Recomendación UIT-R P.1546-6», UIT, oct. 2019.

[64] ITU, «ITU-T Y.1541 Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks».

[65] G. A. Hufford, A. G. Longley, y W. A. Kissick, «A Guide to the Use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode».

[66] «Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands».

[67] «Error-correction, data framing, modulation and emission methods for digital terrestrial television broadcasting».


[68] ITU, «Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics», 2008.

[69] ITU, «Quality of experience requirements for IPTV services», 2008.

7. ANEXOS

7.1 Antena Kathrein 4DR-16-2HN series para TDT

En este anexo se presenta la antena Kathrein 4DR-16-2HN, utilizada como referencia para simulación del sistema de TDT, este equipo corresponde a una antena de radiodifusión diseñada para operar en bandas UHF y utilizada en estaciones de transmisión. Las características técnicas de este modelo, tales como ganancia, polarización, potencia de transmisión y patrón de radiación, fueron considerados como parámetros de entrada en el proceso de simulación de cobertura realizado en el software Xirio Online, permitiendo modelar el comportamiento de la señal y estimar el alcance de la infraestructura de transmisión en el área de estudio.



A Kathrein Broadcast Brand

4DR series
Parapanel UHF-TV Antennas and Arrays
470—806 MHz


The Scala Parapanel antennas offer high performance and low VSWR. Multi-panel arrays can be utilized to provide standard patterns shown below and custom patterns for specific coverage requirements. Arrays include power dividers and coax feeders, plus installation hardware.

The antenna is fabricated from corrosion resistant aluminum and stainless steel. All metal components are DC grounded. The rugged fiberglass radome assures reliable performance in heavy icing conditions.


Thousands of Scala Parapanel are in operation worldwide in translator and low-power UHF-TV systems.

Specifications	
Frequency range	470—806 MHz
Bandwidth	Any single UHF-TV channel
Impedance	50 ohms
VSWR	<1.1:1
Polarization	Horizontal
Maximum input power	500 watts (at 50° C)
Connector	N female
Wind load at 100 mph (161 kph)	
Front / Side / Rear	
470—560 MHz	186 lbf / 84 lbf / 247 lbf (827 N) / (374 N) / (1099 N)
560—656 MHz	110 lbf / 51 lbf / 146 lbf (489 N) / (227 N) / (658 N)
656—806 MHz	60 lbf / 33 lbf / 88 lbf (267 N) / (147 N) / (391 N)
Wind survival rating*	120 mph (193 kph)
Mounting	The following installation kits are included for mounting on 2.375 inch (60 mm) OD masts: Antenna
Frequency range	Clamp kit
470—560 MHz	MKPS-18
560—806 MHz	MKPS-17

*Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in TIA-222-G-2 (December 2009) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. Contact KBU for further details.



4DR-4S



4DR-4-2HW

31001a subject to revision

All specifications are subject to change without notice.
The latest specifications are available at www.kathrein-bca.com

Kathrein Broadcast USA 8337 11th Street, White City, OR 97503
Phone: 541-879-2300 Email: support-usa@kathrein-bca.com

4DR series Page 1 of 4

Specifications

Model	Frequency MHz	Gain dBd	Power Gain	Weight lb (kg)	Dimensions	Number of Panels	Number of Bays
4DR-4S	470—560	9.5	8.91	26 (11.8)	48 x 18 x 9 inches (1220 x 458 x 229 mm)	1	1
	560—656	9.5	8.91	19 (8.7)	36 x 14.3 x 8 inches (915 x 364 x 204 mm)	1	1
	656—806	9.5	8.91	13 (5.9)	29 x 10.5 x 7 inches (737 x 267 x 178 mm)	1	1
4DR-8S	470—560	12	15.85	52 (23.6)	97 x 18 x 9 inches (2464 x 458 x 229 mm)	2	2
	560—656	12	15.85	38 (17.3)	73 x 14.3 x 8 inches (1855 x 364 x 204 mm)	2	2
	656—806	12	15.85	26 (11.8)	59 x 10.5 x 7 inches (1499 x 267 x 178 mm)	2	2
4DR-16S	470—560	14.5	28.18	104 (47.2)	195 x 18 x 9 inches (4953 x 458 x 229 mm)	4	4
	560—656	14.5	28.18	76 (34.5)	147 x 14.3 x 8 inches (3734 x 364 x 204 mm)	4	4
	656—806	14.5	28.18	52 (23.6)	119 x 10.5 x 7 inches (3023 x 267 x 178 mm)	4	4
4DR-4-2HN	470—560	12	15.85	52 (23.6)	48 x 41 x 9 inches (1220 x 1042 x 229 mm)	2	1
	560—656	12	15.85	38 (17.3)	36 x 33.6 x 8 inches (915 x 854 x 204 mm)	2	1
	656—806	12	15.85	26 (11.8)	29 x 26 x 7 inches (737 x 661 x 178 mm)	2	1
4DR-8-2HN	470—560	14.5	28.18	104 (47.2)	97 x 41 x 9 inches (2464 x 1042 x 229 mm)	4	2
	560—656	14.5	28.18	76 (34.5)	73 x 33.6 x 8 inches (1855 x 854 x 204 mm)	4	2
	656—806	14.5	28.18	52 (23.6)	59 x 26 x 7 inches (1499 x 661 x 178 mm)	4	2
4DR-16-2HN	470—560	17	50.12	208 (94.4)	195 x 41 x 9 inches (4953 x 1042 x 229 mm)	8	4
	560—656	17	50.12	152 (69)	147 x 33.6 x 8 inches (3734 x 854 x 204 mm)	8	4
	656—806	17	50.12	104 (47.2)	119 x 26 x 7 inches (3023 x 661 x 178 mm)	8	4
4DR-4-2HW	470—560	6	3.98	52 (23.6)	48 x 27 x 27 inches (1220 x 686 x 686 mm)	2	1
	560—656	6	3.98	38 (17.3)	36 x 22.3 x 22.3 inches (915 x 567 x 567 mm)	2	1
	656—806	6	3.98	26 (11.8)	29 x 17.5 x 17.5 inches (737 x 445 x 445 mm)	2	1
4DR-8-2HW	470—560	8.5	7.08	104 (47.2)	97 x 27 x 27 inches (2464 x 686 x 686 mm)	4	2
	560—656	8.5	7.08	76 (34.5)	73 x 22.3 x 22.3 inches (1855 x 567 x 567 mm)	4	2
	656—806	8.5	7.08	52 (23.6)	59 x 17.5 x 17.5 inches (1499 x 445 x 445 mm)	4	2
4DR-16-2HW	470—560	11	12.59	208 (94.4)	195 x 27 x 27 inches (4953 x 686 x 686 mm)	8	4
	560—656	11	12.59	152 (69)	147 x 22.3 x 22.3 inches (3734 x 567 x 567 mm)	8	4
	656—806	11	12.59	104 (47.2)	119 x 17.5 x 17.5 inches (3023 x 445 x 445 mm)	8	4
4DR-4-3HC	470—560	5.6	3.63	78 (35.4)	48 x 36 x 27 inches (1220 x 915 x 686 mm)	3	1
	560—656	5.6	3.63	57 (25.9)	36 x 30.3 x 22.3 inches (915 x 770 x 567 mm)	3	1
	656—806	5.6	3.63	39 (17.7)	29 x 28 x 17.5 inches (737 x 712 x 445 mm)	3	1
4DR-8-3HC	470—560	8.1	6.46	156 (70.8)	97 x 36 x 27 inches (2464 x 915 x 686 mm)	6	2
	560—656	8.1	6.46	114 (51.8)	73 x 30.3 x 22.3 inches (1855 x 770 x 567 mm)	6	2
	656—806	8.1	6.46	78 (35.4)	59 x 28 x 17.5 inches (1499 x 712 x 445 mm)	6	2
4DR-16-3HC	470—560	10.6	11.48	312 (141.6)	195 x 36 x 27 inches (4953 x 915 x 686 mm)	12	4
	560—656	10.6	11.48	228 (103.5)	147 x 30.3 x 22.3 inches (3734 x 770 x 567 mm)	12	4
	656—806	10.6	11.48	156 (70.8)	119 x 28 x 17.5 inches (3023 x 712 x 445 mm)	12	4
4DR-4-4HD	470—560	4.3	2.69	104 (47.2)	48 x 36 x 36 inches (1220 x 915 x 915 mm)	4	1
	560—656	4.3	2.69	76 (34.5)	36 x 30.3 x 30.3 inches (915 x 770 x 770 mm)	4	1
	656—806	4.3	2.69	52 (23.6)	29 x 28 x 28 inches (737 x 712 x 712 mm)	4	1
4DR-8-4HD	470—560	6.8	4.79	208 (94.4)	97 x 36 x 36 inches (2464 x 915 x 915 mm)	8	2
	560—656	6.8	4.79	152 (69)	73 x 30.3 x 30.3 inches (1855 x 770 x 770 mm)	8	2
	656—806	6.8	4.79	104 (47.2)	59 x 28 x 28 inches (1499 x 712 x 712 mm)	8	2
4DR-16-4HD	470—560	9.3	8.51	416 (188.7)	195 x 36 x 36 inches (4953 x 915 x 915 mm)	16	4
	560—656	9.3	8.51	304 (137.9)	147 x 30.3 x 30.3 inches (3734 x 770 x 770 mm)	16	4
	656—806	9.3	8.51	208 (94.4)	119 x 28 x 28 inches (3023 x 712 x 712 mm)	16	4

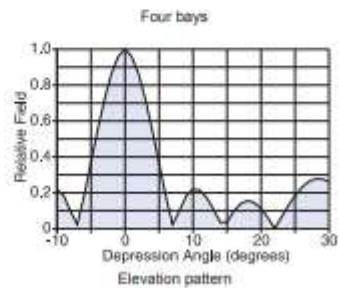
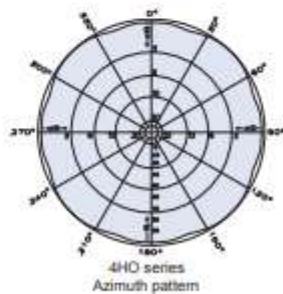
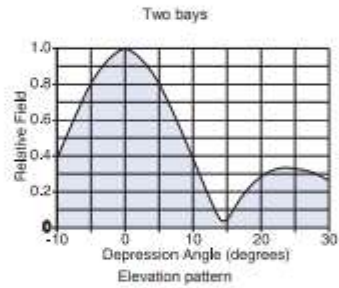
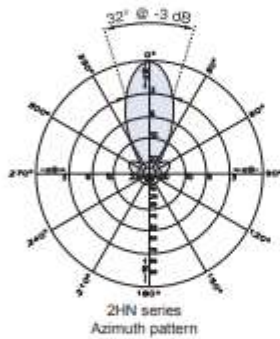
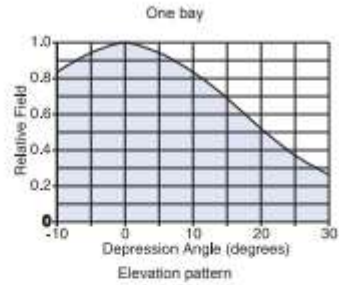
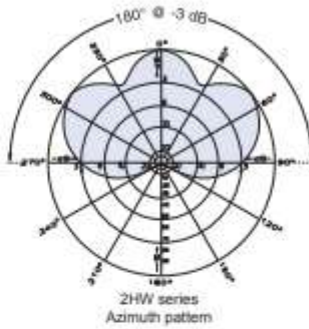
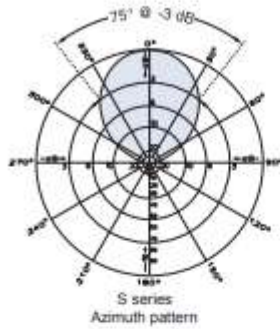
Contact Kathrein Broadcast USA Sales Engineering for information on special arrays with higher gain, asymmetrical patterns, electrical beamtilt, null fill, multichannel bandwidth, and other features to meet your specific requirements.

3006 is subject to information

4DR series Page 2 of 4

All specifications are subject to change without notice.
The latest specifications are available at www.kathrein-bca.com

Kathrein Broadcast USA 8337 11th Street, White City, OR 97503
Phone: 541-879-2300 Email: support-usa@kathrein-bca.com

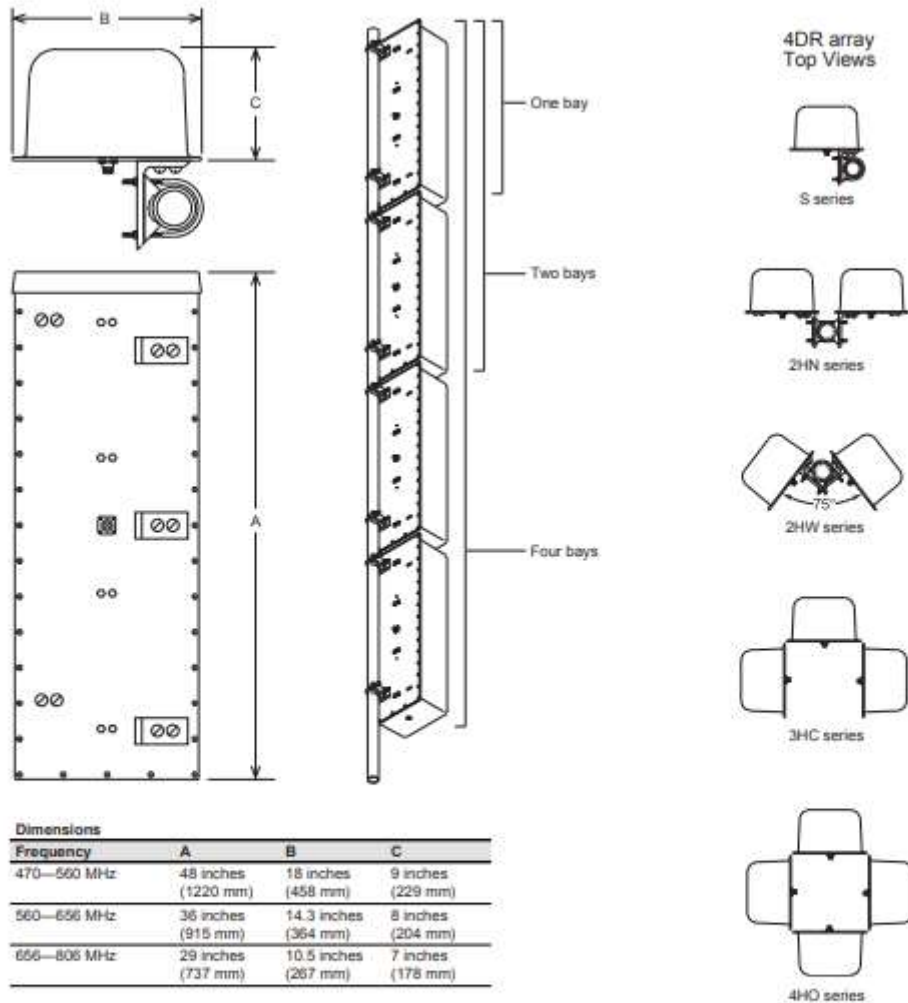


300016 subject to alteration

All specifications are subject to change without notice.
The latest specifications are available at www.kathrein-bca.com

4DR series Page 3 of 4

Kathrein Broadcast USA 8337 11th Street, White City, OR 97503
Phone: 541-879-2300 Email: support-usa@kathrein-bca.com



2008/1a subject to information

7.2 Antena RF X-TREME APXVBLL15X-Ci20

Este anexo presenta la antena RF X-TREME APXVBLL15X-Ci20, utilizada como referencia para la simulación de las estaciones base que soportan los servicios OTT sobre redes móviles LTE. Este tipo de antena es comúnmente empleada en radiobases de telecomunicaciones debido a su capacidad para proporcionar cobertura sectorizada y

optimizar la distribución de la señal en distintos entornos. Los parámetros técnicos de este equipo, como ganancia, frecuencia de operación y potencia de transmisión, fueron utilizados como base para la configuración del modelo de simulación desarrollado en Xirio Online, con el objetivo de estimar el comportamiento de la cobertura del servicio OTT en la provincia de Pichincha

Product Data Sheet

APXVBLL15X-C-i20

RF X-TREME™ Triple band XXXpol Antenna, 698-2690 MHz, 65deg, 14-17.2dBi, 139m, VET 2-15deg, Integrated RET option

Applications

Ideal choice for tripleband site upgrades for high traffic areas. Suitable for LTE 700, Digital dividend, CDMA, GSM, DCS, UMTS and LTE 2.6

Benefits

- Tripleband cross-polarized with 3 arrays (6 ports), 1x 698-960 / 2x 1710-2690 MHz
- Ultra-broadband design for LTE700, LTE 800 and LTE 2600 compatibility
- Variable Electrical downtilt – provides enhanced precision in controlling intercell interferences
- Tilt remotely adjustable according to AISG/3GPP standards
- Enhanced tilt range ideal for dense areas
- Enable MIMO 4x4 and 4 way-diversity
- Low profile for low visual impact and enhanced wind load for minimizing tower wind loading
- Quick and easy to adjust thanks to RFS Universal mount – reduces installation time and costs
- High suppression of side lobes thanks to RFS unique RF architecture

Technical Features

Electrical Specifications

Frequency Range – [MHz]	698-793	790-960	860-960	1710-1880	1850-1960	1920-2170	2300-2400	2500-2690
Horizontal Beamwidth – [°]	72	69	67	68	66	63	67	65
Vertical Beamwidth – [°]	20.0	17.5	16.2	8.0	7.8	8.6	6.2	5.8
Electrical Downtilt – [°]	2 to 15°			2 to 12°				
Gain – [dBi]	13.7	13.8	14.2	16.3	16.9	17.2	16.8	17.0
1 st Upper Sidelobe Suppression – [dB]	16 typical							
Front to Back Ratio – [dB]	25							
VSWR	< 1.5:1							
Isolation between port – [dB]	> 26							
3rd order IMP 2 x 43dBm – [dBc]	> 150							
Impedance	50							
Power, Max – [Watts]	500	500	500	300	300	300	270	270
Lightning protection	Direct Ground							
Connector type	6 x 7-16 Female at bottom (Long neck) + 2 AISG connectors (1 male, 1 female)							

Mechanical Specifications

Dimensions H x W x D – [mm]	1390 x 340 x 200
Weight excl. Mounting Hardware – [kg]	23
Survival wind Velocity – [km/h]	200
Wind Load @ 150 Km/h Front – [N]	320
Wind Load @ 150 Km/h Side – [N]	300
Wind Load @ 150 Km/h Max – [N]	460
Wind Load @ 150 Km/h Rear – [N]	460
Radiating Element Material	PCB and Brass
Radome Material / Color	ASA / Light Grey RAL7035
Mounting Hardware Material	Diecast Aluminium and Galvanized steel

The Clear Choice®

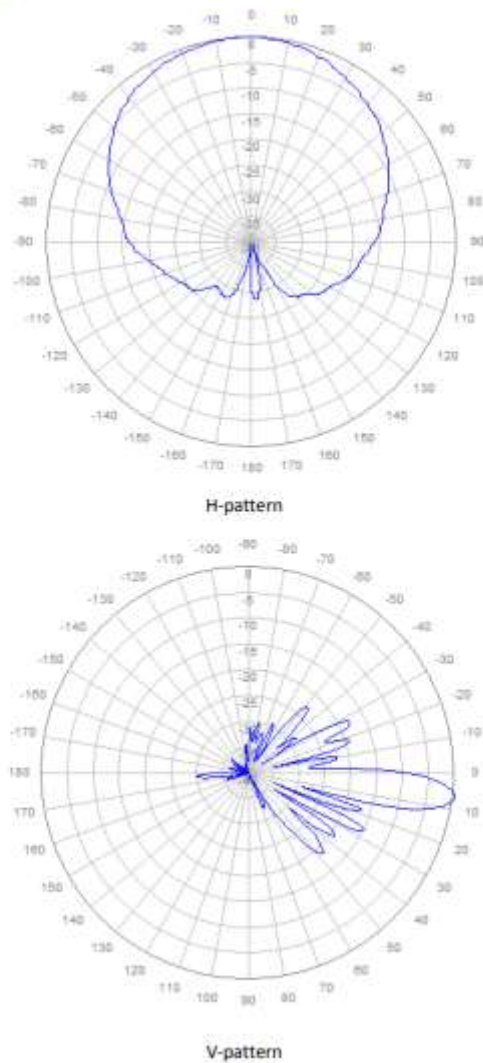
Preliminary v4

02/12/2014

Please visit us on the internet at <http://www.rfsworld.com>
Radio Frequency Systems

Specifications subject to change without notice.

➤ 1800M @ T6



7.3 Cobertura de TDT

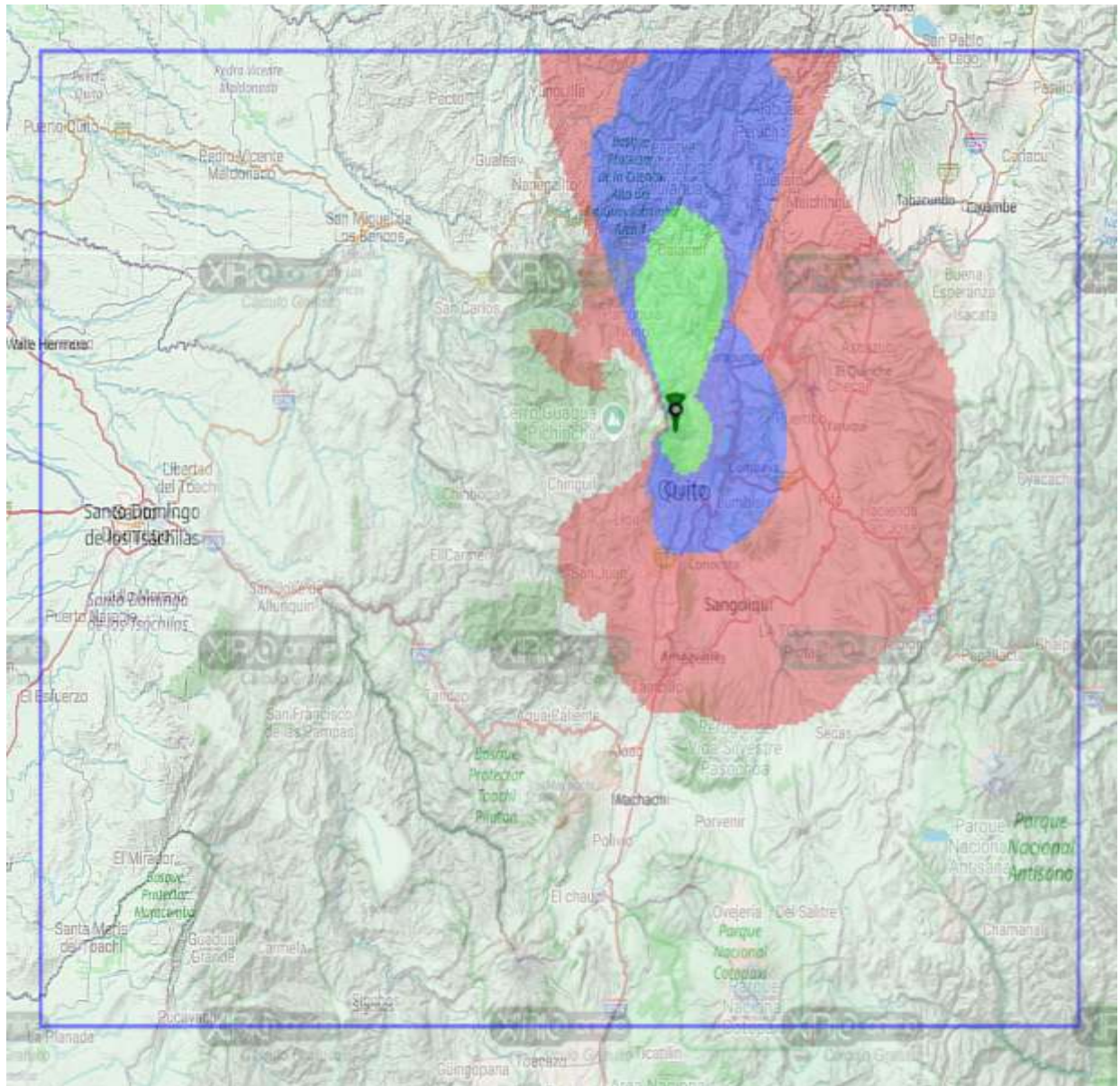
En el presente anexo se exhiben los mapas de cobertura generados mediante la herramienta de planificación radioeléctrica Xirio Online para el sistema de TDT, fundamentados en los parámetros técnicos detallados en el Anexo 7.1. La escala cromática de las representaciones cartográficas indica los niveles de potencia de señal recibida en dBm bajo los siguientes criterios de umbral:

- **Zonas de Nivel Alto (≥ -80 dBm):** Identificadas en color verde, representan una cobertura óptima que garantiza una recepción estable y se alcanza una condición QEF (Quasi Error Free), con una tasa de error de bit $BER \leq 10^{-11}$, garantizando una correcta recepción de aproximadamente el 100 % de las tramas.

- **Zonas de Nivel Medio (–100 dBm a –80 dBm):** Representadas en color azul, indican una cobertura marginal (donde la señal es aceptable, aunque susceptible a degradaciones en la calidad de la experiencia (*QoE*) debido a fluctuaciones en la relación señal a ruido.
- **Zonas de Nivel Bajo (< –100 dBm):** Identificadas en color rojo, denotan áreas de cobertura deficiente donde la intensidad de campo es insuficiente para superar el umbral de decodificación, impidiendo una recepción funcional del servicio.

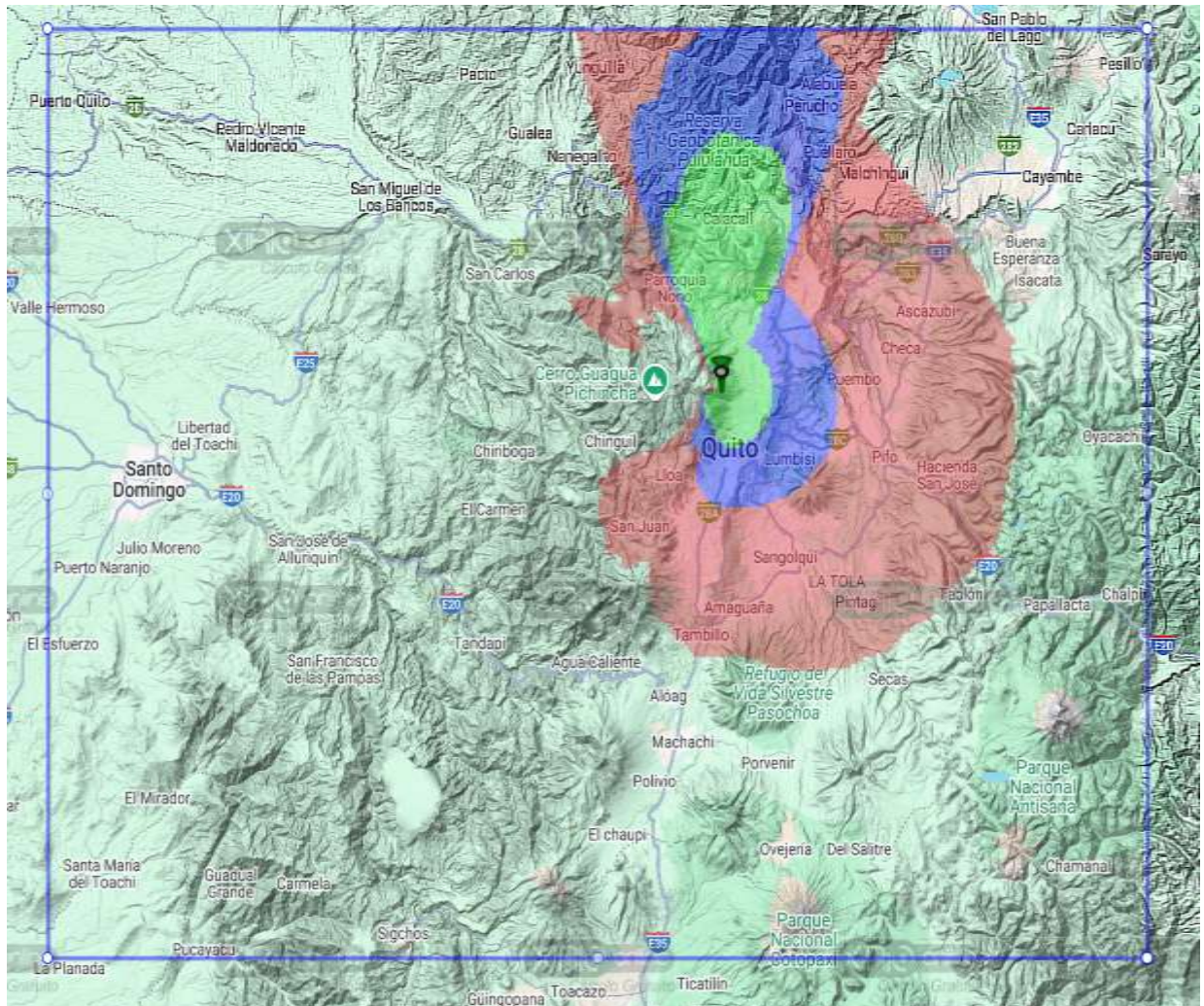
Los umbrales de clasificación utilizados se encuentran alineados con los criterios técnicos establecidos en el estándar ISDB-T, en el cual se define que una recepción adecuada del servicio de televisión digital terrestre se alcanza bajo condiciones de operación Quasi Error Free (QEF), caracterizadas por una tasa de error de bit (BER) menor o igual a 10^{-11} después de la corrección de errores. Asimismo, valores de potencia de señal recibida superiores a aproximadamente –80 dBm permiten garantizar una recepción estable del servicio, mientras que niveles entre –100 dBm y –80 dBm corresponden a condiciones de recepción marginal, y valores inferiores a –100 dBm se asocian a fallas en la decodificación debido al incremento del BER. Estos parámetros permiten asegurar la correcta reconstrucción de las tramas MPEG-TS y una experiencia de usuario sin interrupciones perceptibles

Con una antena de 35 m de altura.



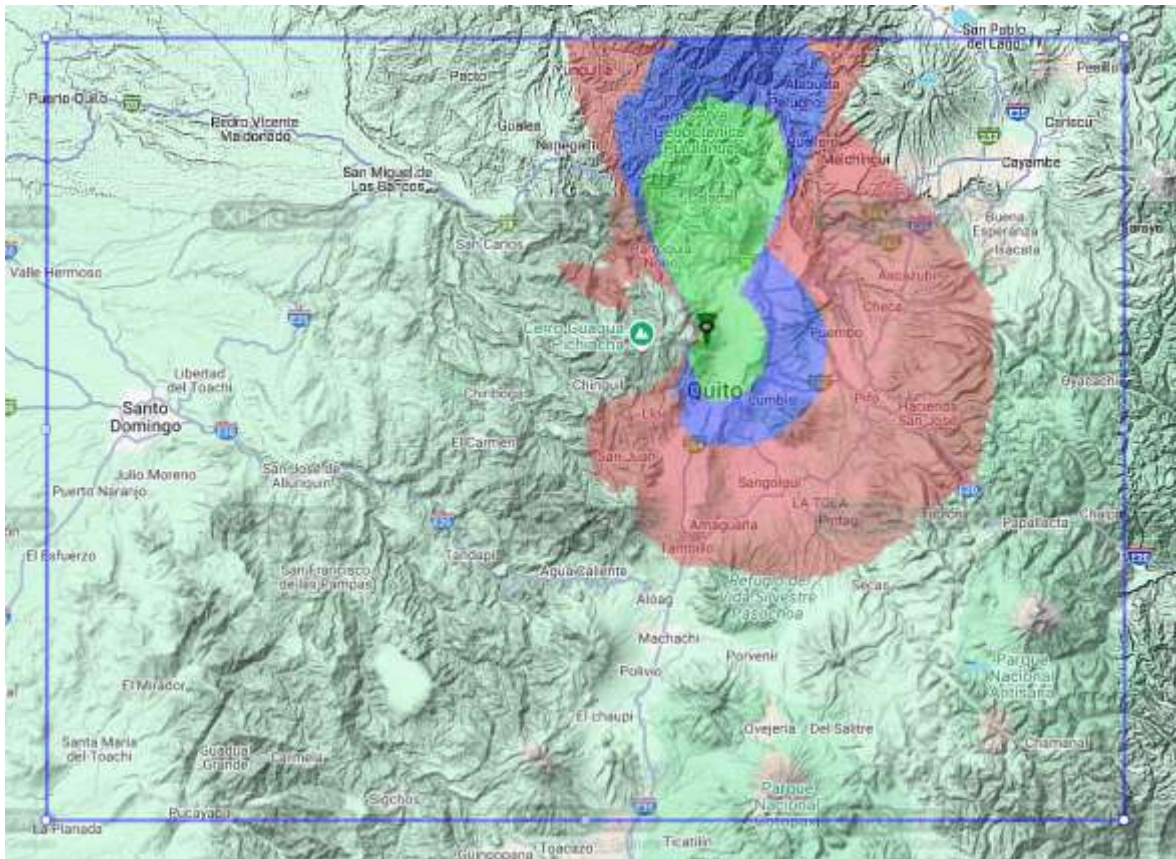
La Figura se observa la cobertura del sistema TDT con una antena a 35 m de altura, donde la zona de cobertura adecuada (verde) alcanza el 2,86 % del área total, mientras que la zona de cobertura limitada (azul) representa el 5,58 %. Por otro lado, la zona de cobertura deficiente (rojo) abarca el 13,5 %, evidenciando una presencia significativa de áreas con baja intensidad de señal.

Con una antena de 45 m de altura.



Para una altura de 45 m, la cobertura adecuada (verde) se incrementa a 7,38 %, mientras que la cobertura limitada (azul) disminuye a 3,24 %. La cobertura deficiente (rojo) se mantiene cercana al 6,73 %, lo que indica una mejora en la distribución de la señal al incrementar la altura de transmisión.

Con una antena de 55 m de altura.



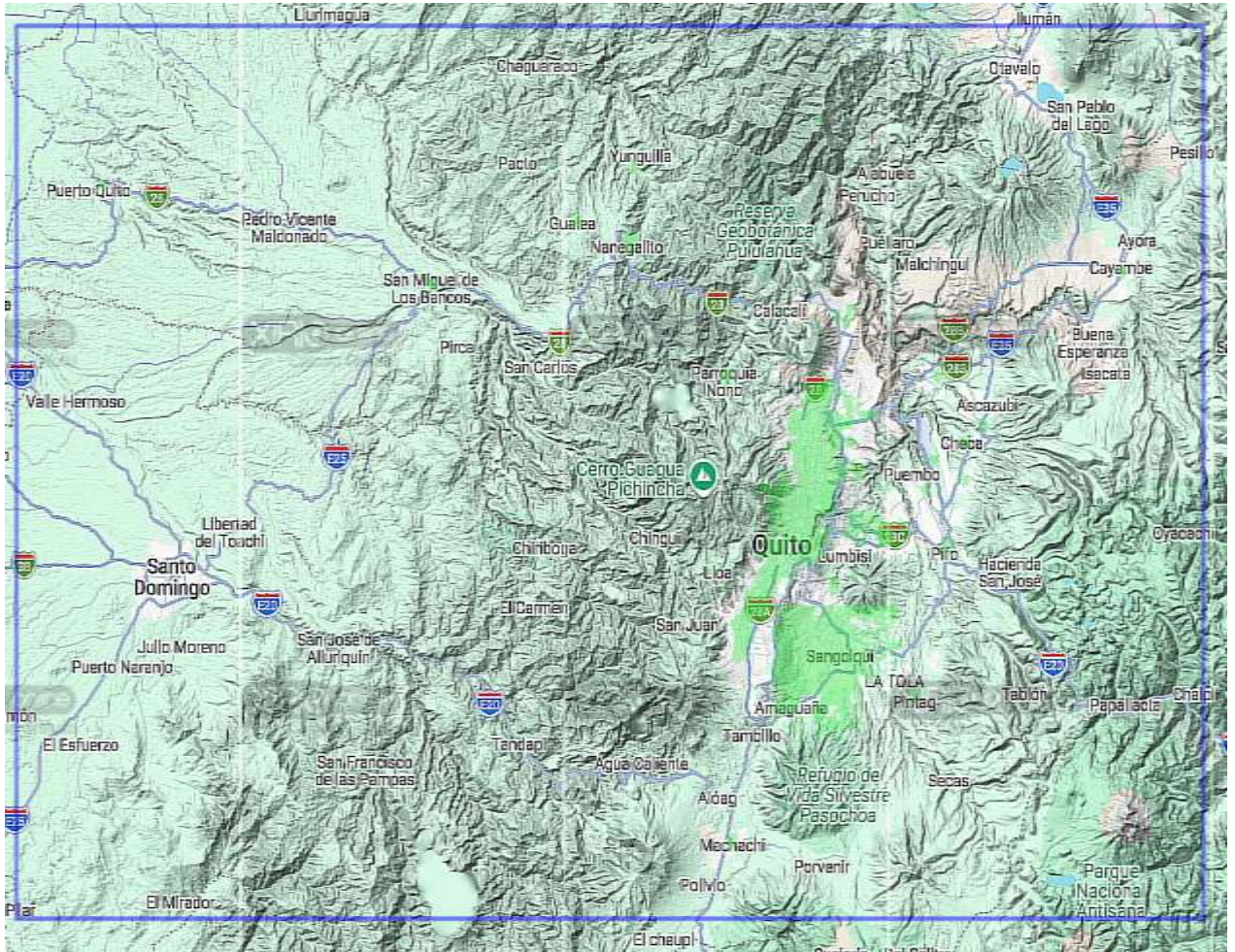
En el escenario con una antena a 55 m, la zona de cobertura adecuada (verde) alcanza el 8,08 %, constituyendo el valor más alto del análisis. La zona de cobertura limitada (azul) se mantiene en 2,99 %, mientras que la zona deficiente (rojo) disminuye a 6,57 %, evidenciando una optimización significativa de la cobertura con el aumento de altura.

7.4 Cobertura de IPTV

En el presente anexo se presentan los mapas de cobertura correspondientes al servicio IPTV, cuya evaluación se basa en parámetros de calidad de servicio de red como el retardo, el jitter y la pérdida de paquetes. La escala cromática de las representaciones indica los niveles de desempeño del servicio bajo los siguientes criterios:

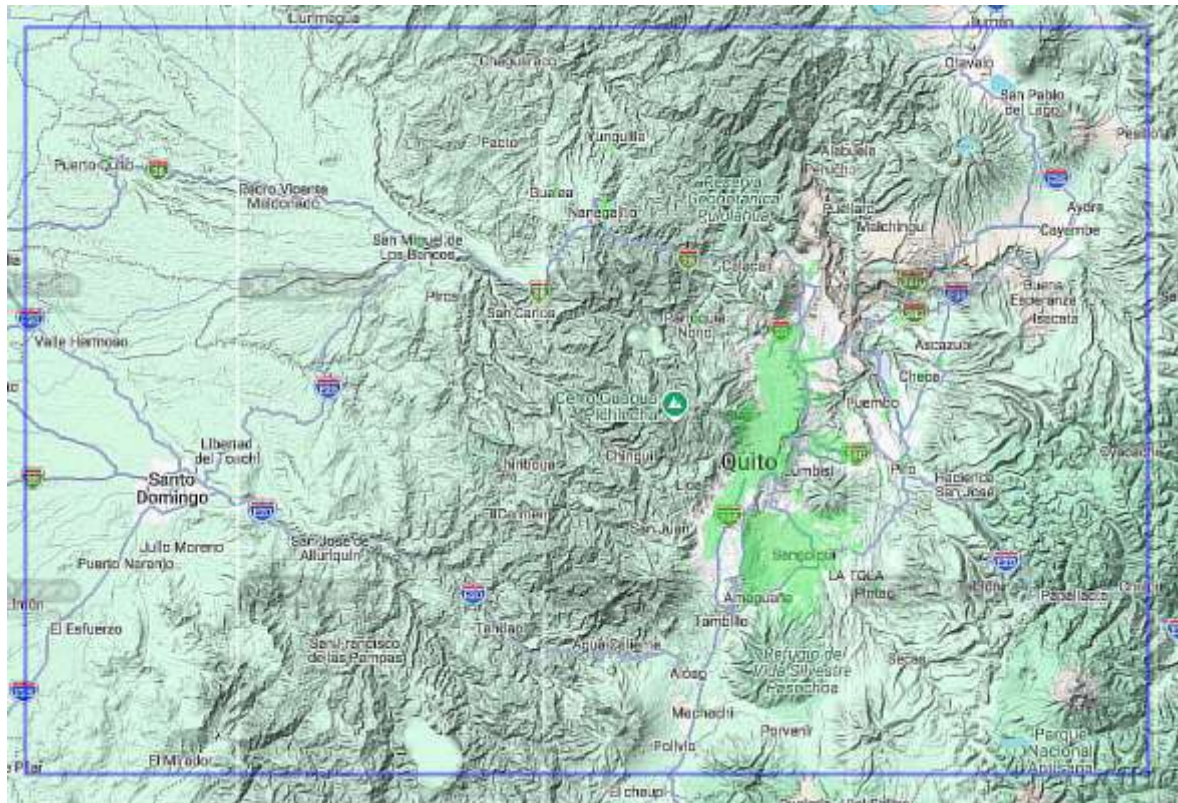
- **Las zonas de nivel alto (retardo < 150 ms):** representadas en color verde, corresponden a áreas con cobertura adecuada, donde el jitter es inferior a 30 ms y la pérdida de paquetes es menor al 0.1 %, garantizando una transmisión fluida y estable de contenido multimedia.
- **Las zonas de nivel medio (150 ms – 300 ms):** mostradas en color azul, indican cobertura limitada, donde el jitter se encuentra entre 30 a 50 ms y la pérdida de paquetes entre 0.1 % y 1 %, lo que puede generar ligeras degradaciones en la calidad del servicio.
- **Finalmente, las zonas de nivel bajo (> 300 ms):** identificadas en color rojo, corresponden a áreas con cobertura deficiente, donde el jitter supera los 50 ms y la

Con 3 nodos adicionales.



Con la implementación de 3 nodos de acceso, la cobertura adecuada (verde) se incrementa a 1,58 %, reduciendo el área sin cobertura a 98,42 %, lo que refleja una mejora progresiva en la distribución del servicio IPTV.

Con 5 nodos adicionales



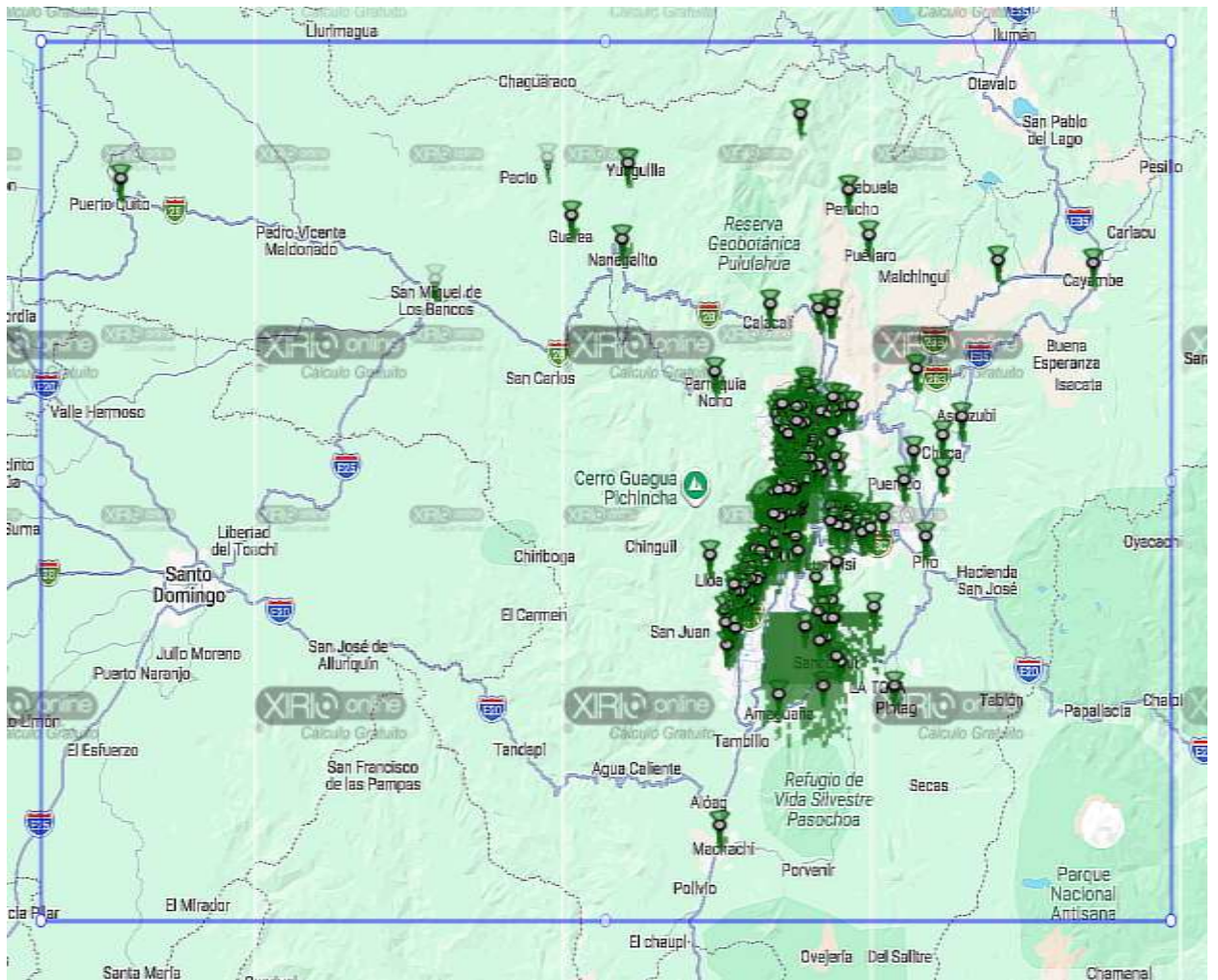
En el escenario con 5 nodos, la zona de cobertura adecuada (verde) alcanza el 1,63 %, mientras que el área sin cobertura se reduce a 98,37 %, evidenciando que el aumento de nodos mejora la cobertura, aunque de forma limitada debido a la dependencia de infraestructura física.

7.5 Cobertura de OTT

En el presente anexo se presentan los mapas de cobertura correspondientes al servicio OTT, soportado sobre redes móviles LTE, donde la evaluación se basa en el parámetro RSRP (Reference Signal Received Power). La escala cromática de las representaciones cartográficas indica los niveles de señal bajo los siguientes criterios:

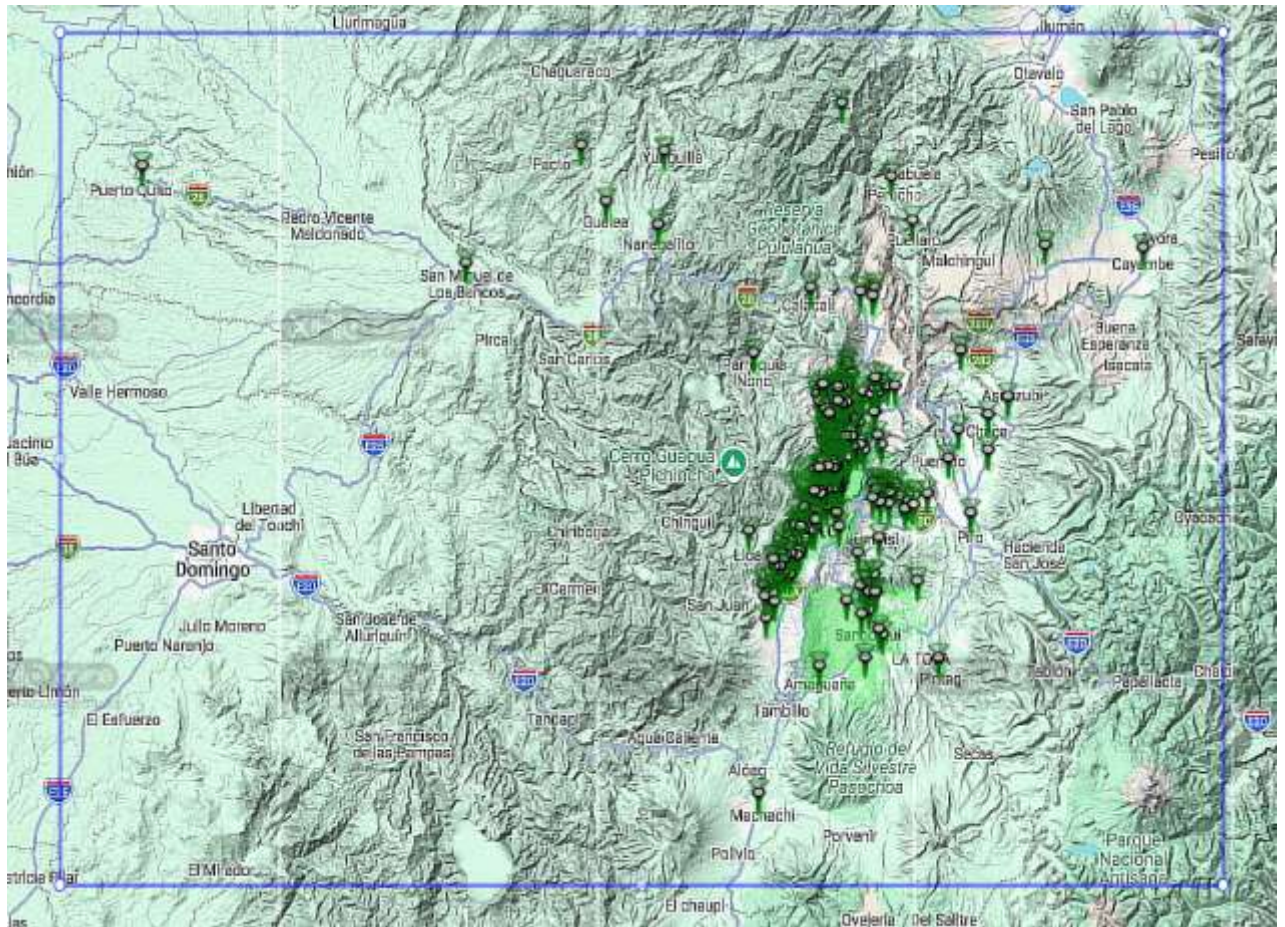
- **Las zonas de nivel alto (≥ -100 dBm):** representadas en color verde, corresponden a áreas con cobertura adecuada, donde es posible soportar tasas de transmisión superiores a 64 kbps, permitiendo una transmisión continua de contenido multimedia con una recepción estimada de entre 10 y 20 paquetes por segundo.
- **Las zonas de nivel medio (-120 a -100 dBm):** mostradas en color azul, indican cobertura limitada, donde las tasas de transmisión se reducen a valores entre 8 y 32 kbps, con una recepción estimada de entre 2 y 4 paquetes por segundo, lo que puede afectar la calidad del servicio.
- **Finalmente, las zonas de nivel bajo (< -120 dBm):** identificadas en color rojo, corresponden a áreas con cobertura deficiente, donde la tasa de transmisión es inferior a 8 kbps y la recepción es menor o igual a 1 paquete por segundo, impidiendo una reproducción adecuada del contenido.

Con radiobases de 12 m de altura.



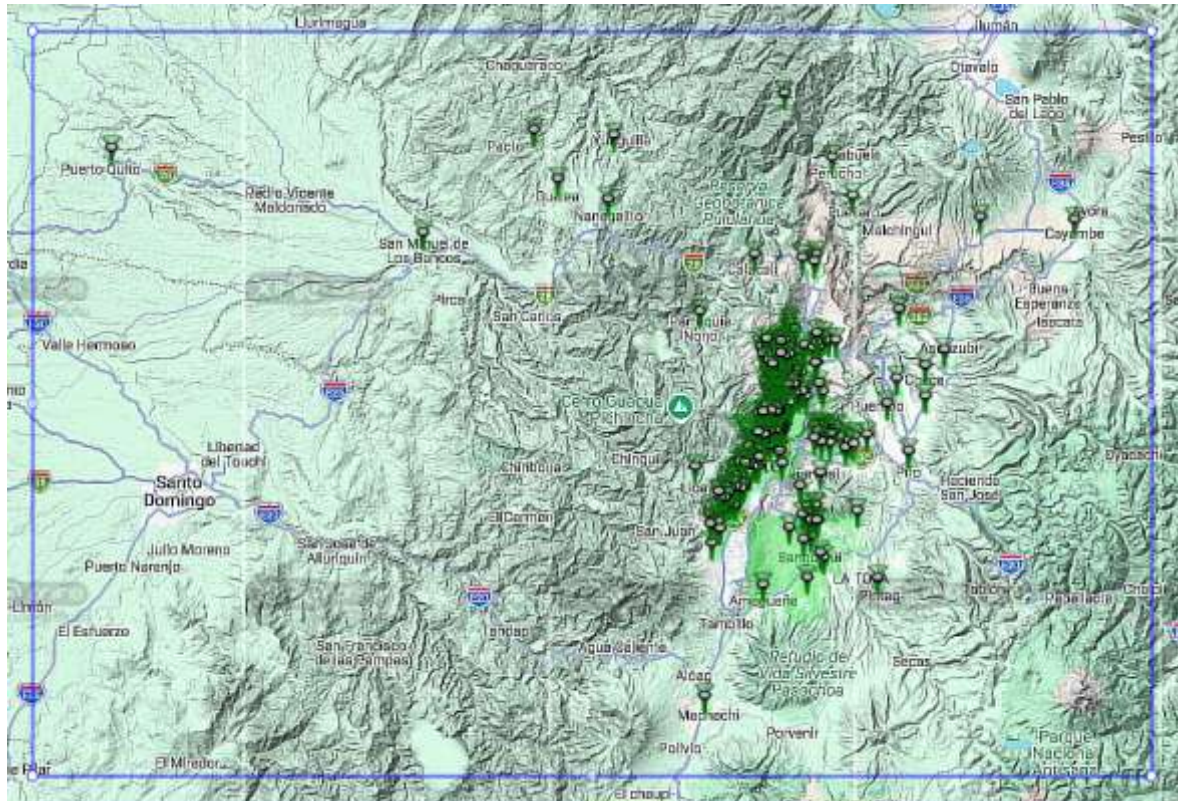
La Figura correspondiente muestra la cobertura del servicio OTT con una radiobase de 12 m de altura, donde la cobertura adecuada (verde) alcanza el 1,55 %, la cobertura limitada (azul) representa el 0,61 %, mientras que la cobertura deficiente (rojo) es del 0 %, indicando ausencia de zonas críticas en este escenario.

Con radiobases de 22 m de altura.



Para una altura de 22 m, la zona de cobertura adecuada (verde) se mantiene en 1,58 %, mientras que la cobertura limitada (azul) disminuye significativamente a 0,04 %, y la cobertura deficiente (rojo) permanece en 0 %, mostrando una mejora notable en la calidad del servicio.

Con radiobases de 32 m de altura.



En el escenario con una radiobase de 32 m, la cobertura adecuada (verde) alcanza su valor máximo de 1,66 %, mientras que la cobertura limitada (azul) se mantiene en 0,05 % y la cobertura deficiente (rojo) continúa en 0 %, evidenciando una optimización de la cobertura con el incremento de la altura de la infraestructura.