



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

Evaluación comparativa sobre la calidad de imagen y sonido de los sistemas TDT, IPTV y OTT en un entorno urbano controlado bajo condiciones homogéneas en la ciudad de Cuenca.

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

**Autor:**

Parada Soria, Marco Gabriel

**Tutor:**

PhD. Ing. Ciro Diego Radicelli García

**Riobamba, Ecuador. 2026**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Marco Gabriel Parada Soria, con cédula de ciudadanía 060568448-9, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: Evaluación comparativa sobre la calidad de imagen y sonido de los sistemas TDT, IPTV y OTT en un entorno urbano controlado bajo condiciones homogéneas en la ciudad de Cuenca, 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, 6 de enero del 2026.



---

Marco Gabriel Parada Soria  
C.I: 060568448-9

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Ciro Diego Radicelli García** catedrático adscrito a la Facultad de Nombre de la Facultad Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado **“Evaluación comparativa sobre la calidad de imagen y sonido de los sistemas TDT, IPTV y OTT en un entorno urbano controlado bajo condiciones homogéneas en la ciudad de Cuenca.”**, bajo la autoría de **Marco Gabriel Parada Soria**; 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 4 días del mes de diciembre mes de 2025.



---

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 "Evaluación comparativa sobre la calidad de imagen y sonido de los sistemas TDT, IPTV y OTT en un entorno urbano controlado bajo condiciones homogéneas en la ciudad de Cuenca", presentado por Marco Gabriel Parada Soria, con cédula de identidad número 060568448-9, bajo la tutoría de PhD. 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 6 de enero de 2026.

Alejandra del Pilar Pozo Jara, Mgs.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Klever Hernán Torres Rodríguez, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Leonardo Fabián Rentería Bustamante, PhD.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**





Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.15  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

## CERTIFICACIÓN

Que, **PARADA SORIA MARCO GABRIEL** con CC: **060568448-9**, estudiante de la Carrera de **TELECOMUNICACIONES**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"EVALUACIÓN COMPARATIVA SOBRE LA CALIDAD DE IMAGEN Y SONIDO DE LOS SISTEMAS TDT, IPTV Y OTT EN UN ENTORNO URBANO CONTROLADO BAJO CONDICIONES HOMOGÉNEAS EN LA CIUDAD DE CUENCA"**, cumple con el **6%** 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, 15 de diciembre de 2025.



Firmado electrónicamente por:  
**CIRO DIEGO  
RADICELLI GARCIA**  
Validar únicamente con FirmaRC

---

PhD. Ciro Diego Radicelli García  
**TUTOR**

## DEDICATORIA

*A mis abuelitos Jorge, Laura, Augusto y Rosa, por el amor que dejaron sembrado y por el camino que construyeron incluso antes de que yo existiera. Este logro nace también de ustedes, de sus luchas silenciosas, de los sacrificios que hicieron sin esperar nada a cambio, de la fuerza con la que sostuvieron a nuestra familia y de los sueños que guardaron en su corazón para quienes vendríamos después. Cada paso que doy lleva un pedacito de su historia, de su valor y de su amor.*

*Dedico también este triunfo a la familia que aún no llega, a quienes un día caminarán conmigo. Que encuentren en mi historia un faro que les recuerde que venimos de gente valiente, y que cada esfuerzo deja un eco que otros pueden seguir.*

*Ya quien lea estas palabras y dude de sí mismo: que esta obra sea un susurro suave que diga sigue, que invite a no renunciar, que recuerde que incluso los sueños más pesados pueden levantarse si el corazón insiste. Porque creer en uno mismo es el primer paso para transformar la vida.*

*Marco Gabriel Parada Soria*

## AGRADECIMIENTO

*A mis padres, Amanda y Marco, quienes con su amor incondicional, su esfuerzo silencioso y su fortaleza infinita han sido el fundamento de cada uno de mis logros. Gracias por enseñarme que los sueños se alcanzan con perseverancia, humildad y fe. Este trabajo es tan mío como de ustedes.*

*A mis hermanos, Odalys y Jorge, porque han sido compañía, apoyo y aliento constante. Su cariño y su presencia han sido un pilar indispensable durante todo mi camino universitario. A mi otra familia, Diego, Berta, Siboney, Milena, Shennoa y Paulet quienes se convirtieron en un hogar adicional, lleno de comprensión, afecto y respaldo. Gracias por acompañarme, por creer en mí y por recordarme que la familia también se elige. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible. Extiendo también mi gratitud a toda mi familia, que en cada paso me brindó apoyo, palabras de ánimo y motivos para continuar.*

*A mis amigos, quienes han compartido conmigo este proceso lleno de aprendizajes. En especial Gabriel, Gonzalo y José, por su confianza, su compañía y por estar presentes en cada etapa de esta formación. Y a ese pequeño colibrí que apareció en los momentos más difíciles, cuando el camino parecía difuso y avanzar costaba más de lo habitual. Gracias por recordarme, que incluso las alas más frágiles pueden sostener grandes distancias. Su presencia me enseñó a mirar de nuevo hacia adelante, a encontrar calma en medio del ruido y a recuperar la fuerza necesaria para continuar. Ese impulso silencioso y esa luz inesperada fueron esenciales para llegar hasta aquí.*

*A mi tutor, el Doctor Ciro Radicelli, por su dedicación, su guía profesional y por creer en mis capacidades incluso en los momentos más exigentes del proyecto. Su orientación fue fundamental para la culminación de esta tesis.*

*A la ingeniera Deysi Inca, una docente que marcó mi camino con su vocación y su motivación constante, y a todos mis profesores y compañeros, quienes formaron parte de una etapa universitaria que recordaré siempre con cariño. Gracias por los conocimientos compartidos, las experiencias vividas y por construir, junto a mí, este capítulo tan importante de mi vida. Gracias,*

*Marco Gabriel Parada Soria*

# 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

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO I .....</b>                                | <b>14</b> |
| 1.1 Introducción.....                                  | 14        |
| 1.2 Planteamiento del problema .....                   | 16        |
| 1.3 Justificación.....                                 | 16        |
| 1.4 Objetivos.....                                     | 18        |
| 1.4.1 Objetivo general .....                           | 18        |
| 1.4.2 Objetivos específicos.....                       | 18        |
| <b>CAPÍTULO II.....</b>                                | <b>19</b> |
| 2.1 Marco Teórico .....                                | 19        |
| 2.1.1 Televisión Digital Terrestre (TDT) .....         | 19        |
| 2.1.2 Estándar ISDB-Tb .....                           | 20        |
| 2.1.3 Estructura de la TDT .....                       | 21        |
| 2.1.4 Televisión por Protocolo de Internet (IPTV)..... | 24        |
| Formatos de Transporte y Entrega .....                 | 26        |
| 2.1.5 Estructura de IPTV .....                         | 26        |
| 2.1.6 Sistema Over the Top (OTT).....                  | 29        |
| 2.1.7 Arquitectura del sistema OTT .....               | 31        |
| <b>CAPÍTULO III.....</b>                               | <b>35</b> |
| 3.1 Metodología.....                                   | 35        |
| 3.2 Tipo de Investigación .....                        | 36        |
| 3.3 Diseño de Investigación.....                       | 36        |



|                           |   |           |
|---------------------------|---|-----------|
| 3.4                       | Técnicas de recolección de Datos.....                     | 37        |
| 3.5                       | Fases de ejecución .....                                  | 38        |
| 3.6                       | Población de estudio y tamaño de muestra.....             | 39        |
| 3.7                       | Hipótesis .....   | 40        |
| 3.8                       | Operacionalización de las variables .....                 | 40        |
| 3.9                       | Métodos de análisis, y procesamiento de datos .....       | 41        |
| <b>CAPÍTULO IV .....</b>  |   | <b>43</b> |
| 4.1                       | Resultados de las mediciones técnicas .....               | 43        |
| 4.1.1                     | Medición de TDT (Mirador de Turi - Cuenca).....           | 43        |
| 4.1.2                     | Medición de IPTV (Entorno doméstico - Cuenca).....        | 44        |
| 4.1.3                     | Medición de OTT (Entorno doméstico - Cuenca).....         | 45        |
| 4.2                       | Análisis estadístico descriptivo de las tecnologías ..... | 47        |
| 4.2.1                     | TDT – Estadísticos descriptivos .....                     | 47        |
| 4.2.2                     | IPTV – Estadísticos descriptivos .....                    | 47        |
| 4.2.3                     | OTT – Estadísticos descriptivos .....                     | 48        |
| 4.3                       | Resultados de la Calidad percibida (MOS) .....            | 49        |
| 4.4                       | Integración técnica-perceptual.....                       | 51        |
| 4.4.1                     | Relación entre estabilidad técnica y MOS en TDT .....     | 51        |
| 4.4.2                     | Relación entre estabilidad técnica y MOS en IPTV .....    | 52        |
| 4.4.3                     | Relación entre estabilidad técnica y MOS en OTT .....     | 52        |
| 4.4.4                     | Comparación integrada entre tecnologías.....              | 52        |
| 4.5                       | Discusión respecto a objetivos e hipótesis .....          | 53        |
| 4.5.1                     | Cumplimiento del Objetivo General.....                    | 53        |
| 4.5.2                     | Cumplimiento de los Objetivos Específicos.....            | 53        |
| 4.5.3                     | Discusión de la hipótesis generalizada (H1).....          | 54        |
| 4.5.4                     | Discusión de la hipótesis nula (H0).....                  | 55        |
| <b>CAPÍTULO V .....</b>   |   | <b>56</b> |
| 5.1                       | Conclusiones y Recomendaciones.....                       | 56        |
| 5.1.1                     | Conclusiones.....   | 56        |
| 5.1.2                     | Recomendaciones .....                                     | 56        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b> |   | <b>58</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>        |   | <b>63</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 Resumen de parámetros prácticos e impacto de la TDT en QoE .....                                     | 23 |
| Tabla 2 Parámetros prácticos en impacto en QoE .....   | 28 |
| Tabla 3 OTT: KPIs prácticos y su impacto en la QoE .....   | 34 |
| Tabla 4 Variables dependientes e independientes .....  | 40 |
| Tabla 5 Mediciones de TDT realizadas con Ranger Neo 4 en el mirador de Turi-Cuenca.                          | 43 |
| Tabla 6 Mediciones de IPTV realizadas con VLC y Ranger Neo 4 en un entorno doméstico en Cuenca.....          | 44 |
| Tabla 7 Mediciones de IPTV realizadas con FFmpeg, VLC y Ranger Neo 4 en un entorno doméstico en Cuenca ..... | 45 |
| Tabla 8 Resumen estadístico comparativo .....  | 49 |
| Tabla 9 Resultados de la encuesta MOS para TDT .....   | 50 |
| Tabla 10 Resultados de la encuesta MOS para IPTV.....  | 51 |
| Tabla 11 Resultados de la encuesta MOS para OTT.....   | 51 |
| Tabla 12 Desempeño MOS de las tres tecnologías .....   | 53 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1 Funcionamiento completo de la TDT.....  | 23 |
| Ilustración 2 Funcionamiento completo de IPTV.....  | 28 |
| Ilustración 3 Funcionamiento completo de OTT.....   | 33 |
| Ilustración 4 Estudiantes del Telecomunicaciones realizando la evaluación de los clips para sacar el MOS..... | 50 |

## **RESUMEN**

Este estudio compara la calidad de imagen y sonido de tres sistemas de distribución audiovisual, en este caso Televisión Digital Terrestre (TDT-ISDB-Tb), IPTV y OTT, bajo un entorno homogéneo dentro de la ciudad de Cuenca. Para ello se aplicó una metodología mixta basada en las recomendaciones ITU-R BT.500 e ITU-T P.910, la cual integró mediciones técnicas como MER, C/N, BER, latencia, jitter, pérdida de paquetes y bitrate, junto con una evaluación subjetiva mediante el método ACR/MOS aplicado a 30 observadores. La TDT se evaluó en condiciones ideales de recepción, mientras que IPTV y OTT se analizaron en entornos domésticos reales. Los resultados evidencian diferencias claras entre los sistemas, ya que TDT presentó la mayor estabilidad técnica y el MOS más alto. En cambio, IPTV alcanzó una calidad perceptual elevada, aunque con cierta variabilidad, mientras que OTT mostró la mayor fluctuación debido a cambios de resolución y eventos de buffering. En conjunto, los hallazgos indican que la calidad percibida depende de manera directa de la estabilidad del canal de distribución.

**Palabras claves:** TDT, IPTV, OTT, QoE, MOS

## **ABSTRACT**

This study compares the image and audio quality of three audiovisual delivery systems, specifically Digital Terrestrial Television (DTT-ISDB-Tb), IPTV, and OTT, under homogeneous conditions within the urban environment of Cuenca. Mixed-methodology was applied based on ITU-R BT.500 and ITU-T P.910 recommendations, integrating technical measurements such as MER, C/N, BER, latency, jitter, packet loss, and bitrate with subjective evaluation using the ACR/MOS method with 30 observers. DTT was assessed under ideal reception conditions, whereas IPTV and OTT were examined in real domestic environments. The results reveal clear differences among the systems. DTT demonstrated the highest technical stability and consequently achieved the highest MOS. IPTV showed strong perceptual quality, though with moderate variability, while OTT showed the greatest fluctuations due to resolution changes and buffering events. Overall, the findings suggest that perceived quality is directly influenced by the technical stability of the distribution channel.

**Keywords:** DTT, IPTV, OTT, QoE, MOS.



Reviewed by:

Mgs. Sofia Freire Carrillo

**ENGLISH PROFESSOR**

C.C. 0604257881

# CAPÍTULO I

## 1.1 Introducción

En la última década, el consumo de contenido audiovisual ha cambiado en el Ecuador en particular y en el mundo en general, en respuesta a la implementación de la Televisión Digital Terrestre (TDT), la Televisión por Protocolo de Internet (IPTV) y las plataformas Over-The-Top (OTT)[1], [2]. Estas tecnologías aumentan el acceso y la personalización de los servicios, pero también plantean desafíos técnicos para la calidad de imagen y audio percibida por el usuario final (disponibilidad de ancho de banda, latencia, jitter, compresión procesamiento del dispositivo, etc.)[3], [4], [5].

En Ecuador, la TDT bajo el estándar ISDB-Tb fue adoptada oficialmente en 2010, y su transición ha sido regulada por el Plan Maestro 2018-2021 propuesta por el Ministerio de Telecomunicaciones[6], [7]. En el Ecuador coexisten tres vías: TDT por aire, IPTV controlada por un operador y un creciente OTT regional (particularmente en Televisión Concetada o CTV) [8]. La calidad variará dependiendo de las condiciones de entrega y del dispositivo: por ejemplo, la TDT depende de la cobertura/ruido de radio frecuencia (RF), la IPTV depende de las pérdidas/jitter de la red del operador, y el OTT depende del comportamiento de la red de Internet y la adaptación de la tasa de bits. Sin control sobre estas condiciones, la comparación de "qué se ve mejor" entre TDT, IPTV y OTT sería engañosa [3], [4].

En este estudio, TDT/ISDB-Tb, IPTV y OTT se consideraron como 3 modos de entrega con diferentes niveles de base técnica. ISDB-Tb utiliza OFDM segmentado y multiplexación de servicios para un canal UHF de 6 MHz, mientras que IPTV distribuye TV a través de redes IP controladas (por ejemplo, multicast para transmisión en vivo; unicast para video bajo demanda – VoD -) con gestión de tráfico de extremo a extremo[9]. Por otro lado, OTT puede implementarse sin un operador y se realiza a través de Internet abierto con transmisión adaptativa (ABR), que generalmente es HLS/DASH (protocolos de streaming de vídeo que dividen el contenido en segmentos para adaptarlo a la velocidad de la red del usuario), ya que el reproductor adapta la tasa y la resolución según el entorno[10], [11].

En este contexto, la consideración de la calidad de experiencia del usuario (QoE), el valor perceptual de la experiencia de ver y escuchar, es importante, al igual que la continuidad del servicio. En el video, la claridad y estabilidad del movimiento, además de la ausencia de artefactos de compresión, también tienen prioridad, y el audio, la inteligibilidad, el equilibrio espectral y la sincronización Audio-Video son de interés dependiendo del códec, la tasa y el canal. En cuanto al servicio proporcionado, la latencia de inicio, los rebufferings y el cambio de calidad (en OTT); o los umbrales de RF (TDT) tienen un fuerte impacto en la percepción del usuario [10], [11], [12]. Por lo tanto, las características técnicas a comparar son la resolución objetivo (por ejemplo, 720p/1080p), el bitrate y los perfiles de compresión tanto para audio como para video; y parámetros específicos para cada método de entrega y su efecto perceptual[9].

La percepción con la calidad se mide en dos pilares fundamentales; una evaluación subjetiva a través de escalas tipo MOS que se refieren a una medida numérica de la calidad general, juzgada por humanos, de un evento o experiencia. En telecomunicaciones, una Puntuación Media de Opinión es una clasificación de la calidad de las sesiones de voz y video, según las normas ITU-T P.910, ITU-R BT.500.

Esta comparación se llevará a cabo con el fin de lograr las condiciones más equivalentes entre las diversas tecnologías (mismo contenido, misma calibración y parámetros de audio), registrando indicadores de calidad objetivos y subjetivos. Esto significa que, en la escena local, los usuarios, operadores y tomadores de decisiones podrán encontrar fortalezas y limitaciones a partir de sus resultados para cada alternativa

## 1.2 Planteamiento del problema

En los últimos diez años, el acceso a contenido audiovisual en Ecuador ha experimentado una gran transformación con la coexistencia de TDT, IPTV y OTT, que se han popularizado. Sin embargo, la percepción de los usuarios sobre la calidad (en imagen/audio) no está influenciada solo por la tecnología; la forma de entrega del contenido o el dispositivo también influyen en la calidad del resultado (por ejemplo, cobertura y condiciones de RF en TDT; pérdida/jitter y dimensionamiento en IPTV; o congestión y adaptación de tasa en OTT), lo que resulta en variabilidad en el contenido final [4], [5], [10].

A pesar de esta convergencia tecnológica, no existe una prueba comúnmente utilizada que pueda medir objetivamente y verificar de manera reproducible la calidad percibida (QoE) de TDT, IPTV y OTT dentro del mismo entorno local. La comparación entre contenido, redes y dispositivos no controlados y entre mediciones aisladas de dispositivos también lleva a preguntas sobre validez y dificultades técnicas y operativas [4], [5], [10].

El presente estudio es factible en la ciudad de Cuenca ya que proporciona los tres tipos de distribución. Además, existe la posibilidad de estandarizar el contenido utilizado para las pruebas y las condiciones de visualización, como pantalla, iluminación y distancia, que reducen el nivel de sesgo derivado de la cobertura o variación de la red. Este contexto permite el mejor aislamiento de las diferencias inherentes de cada tecnología del impacto general en la QoE [6], [8], [10].

Como resultado, este problema se centra principalmente en la ausencia de un marco de evaluación coherente, localmente relevante y reproducible que permita la cuantificación y comparación de la calidad audiovisual entre las instalaciones de TDT, IPTV y OTT en Cuenca. Superar este desafío creará datos confiables para usuarios, operadores y tomadores de decisiones sobre cómo mejorar los aspectos tecnológicos/operativos de los servicios audiovisuales en la ciudad y sus alrededores [6], [8], [10], generando además política pública en el ámbito de las telecomunicaciones.

## 1.3 Justificación

TDT, IPTV y OTT al ser comparados deben entenderse como una cadena técnica diferente, por ejemplo: codificación, empaquetado, transporte y adaptación de dispositivos. Para la recepción de TDT/ISDB-Tb se tienen de radiofrecuencia como el MER (Relación de Error de Modulación), C/N (Relación Portadora/Ruido) y BER (Tasa de Error de Bits) y parámetros, para IPTV, la entrega se realiza con redes IP gestionadas y puede sufrir pérdida de paquetes, fluctuaciones y hasta variaciones de tasa. Alternativamente, OTT difunde contenido, a través de streaming adaptativo que usa HLS (HTTP Live Streaming) y DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP), al público según el entorno (el reproductor modifica) dependiendo de los datos en la red, resultando en interrupciones debido a rebuffering y cambios frecuentes de calidad y demás [1], [2], [3], [4], [6], [7], [8], [10], [12], [13], [14], [15]. Enfocarse en estas variaciones en la estructura explica el porqué de los



resultados inconsistentes que siguen a comparaciones informales entre contenido, redes o pantallas no controladas que no son útiles en la toma de decisiones.

En esta perspectiva, “calidad” se refiere a la percepción de la experiencia: desde el punto de vista del usuario sobre lo que ven y oyen, desde la transparencia visual, el flujo y el contenido no articulado en video; hasta la inteligibilidad del habla, la claridad espectral y la armonización auditiva en la continuidad del servicio. Basado en los hallazgos, esta percepción puede evaluarse con la ayuda de escalas ACR/MOS (Calificación de Categoría Absoluta/Puntuación de Opinión Media) según ITU-T P.910 e ITU-R BT.500 [1], [2], [3], [4], [6], [7], [8], [10], [12], [13], [14], [15].

Para hacer una comparación justa y reproducible, se requiere un lenguaje común de tal modo de estandarizar el entorno visualizado (pantalla, iluminación, distancia), el contenido (clips del mismo final de una línea o similares en duración y dinámica), así como para validar las mediciones de KPIs (Indicadores Clave de Desempeño) específicos de cada camino antes de cada examen: Para TDT el MER (calidad de la modulación), C/N (relación entre la potencia de la señal portadora y el ruido) y BER (tasa de errores de bits); para IPTV se requiere que las pérdidas sean casi nulas, baja fluctuación y un MDI (Interfaz Dependiente del Medio) estable; y para OTT, es esencial que no haya fallos de segmento, rebufferings e inestabilidad de tasa [9]–[13]. Con esta base compartida, se minimiza el sesgo asociado con el contenido, la red o el dispositivo, y se aumenta la trazabilidad de los hallazgos.

La importancia local es porque en la ciudad de Cuenca, los tres caminos de distribución son realizables, por lo que es posible construir escenarios equivalentes que diferencien las diferencias tecnológicas para cada tecnología a partir de resultados que se basan en la cobertura o la heterogeneidad de la red. La consistencia en la evidencia que puede replicarse ayuda tanto a los usuarios como a los tomadores de decisiones a saber qué se espera y cuáles son las limitaciones de cada selección. También proporciona criterios operativos para abordar la mejora en la codificación, el dimensionamiento, el manejo del tráfico y la gestión de CDN (Red de Distribución de Contenido) de los servicios [9]–[13].

Aparte de la ventaja práctica del estudio, el procedimiento ha demostrado su compatibilidad con estándares mundiales (ETSI TS 102 034, ISO/IEC 23009-1 para DASH e ISO/IEC 23000-19 para CMAF (Formato Común de Aplicación de Medios), ITU-T P.910, ITU-R BT.500) que pueden repetirse en situaciones comparables y podrían aplicarse como referencia para futuros estudios en el Ecuador.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Comparar la calidad de imagen y sonido de los sistemas TDT, IPTV y OTT en un entorno urbano controlado en la ciudad de Cuenca, bajo condiciones técnicas homogéneas.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Describir las características técnicas de los sistemas TDT, IPTV y OTT, identificando los factores que afectan la calidad de imagen y sonido.
- Diseñar una metodología de evaluación que garantice condiciones homogéneas entre los tres sistemas.
- Realizar un análisis comparativo de los datos obtenidos en la ciudad de Cuenca sobre la calidad de imagen y sonido de los sistemas TDT, IPTV y OTT.

## CAPÍTULO II

### 2.1 Marco Teórico

#### 2.1.1 Televisión Digital Terrestre (TDT)

La TDT representa la integración de tecnología digital en una transmisión de señales televisivas, empleando ondas hercianas terrestres como un medio de propagación. Estas ondas, que se desplazan a través de la atmósfera, dan paso a la transmisión de contenido sin emplear una infraestructura como cables o satélites, siendo captadas de manera eficaz mediante antenas UHF convencionales[16]. Esta tecnología es el resultado de implementación de tecnología digital en la señal de televisión, utilizando el reecurso del espectro radioeléctrico de forma óptima y como resultado genera una calidad visual y sonora superior.

En mayo de 2013, Ecuador inició las emisiones regulares de TDT con la primera señal al aire de TC Televisión en Guayaquil[17]. Desde entonces, el país ha estado en una etapa de simulcast, transmitiendo simultáneamente en formatos analógico y digital. El Plan Maestro de Transición a la Televisión Digital Terrestre, elaborado en 2018 por el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Infoormación (MINTEL)[7], estableció una transición progresiva dividida en fases:

- **Fase 1:** Poblaciones mayores a 500.000 habitantes, incluyendo Quito, Guayaquil y Cuenca.
- **Fase 2:** Poblaciones entre 200.000 y 500.000 habitantes.
- **Fase 3:** Poblaciones entre 100.000 y 200.000 habitantes.
- **Fase 4:** Poblaciones menores a 100.000 habitantes.

Inicialmente, se preveía que el apagón analógico, es decir, el cese definitivo de las transmisiones analógicas, culminaría en diciembre de 2023[18]. Sin embargo, este proceso ha experimentado retrasos, y hasta la fecha, no se ha establecido una nueva fecha oficial para la finalización completa de las transmisiones analógicas en el país [19]. Actualmente, Ecuador continúa en la etapa de simulcast, con emisiones tanto analógicas como digitales, mientras se avanza en la implementación total de la TDT.

Es importante señalar que, al igual que en otros países, la transición a la TDT en Ecuador ha enfrentado desafíos y contradicciones. Por ejemplo, en España, se replicaron en el entorno digital muchas de las características del sistema analógico preexistente, lo que demuestra que un aumento en la cantidad de canales no necesariamente implica una mejora en la calidad de los contenidos ni en la diversidad de la programación. La experiencia española indica que situaciones como la asignación discrecional de frecuencias y el incumplimiento de las expectativas de interactividad resultaron en un proceso que no logró responder a las demandas sociales[20].

La TDT sigue siendo una opción relevante en países como Ecuador debido a su capacidad para ofrecer cobertura masiva a bajo costo, especialmente en regiones donde las infraestructuras de Internet son limitadas[21]. Si bien la transición al formato digital enfrenta retrasos, su implementación total podría democratizar el acceso a contenido audiovisual de

mayor calidad. Sin embargo, se requiere un esfuerzo conjunto entre el Estado y los operadores para superar desafíos como la falta de interactividad y garantizar una programación diversa que justifique la adopción definitiva del sistema digital.

### **Ventajas técnicas y operativas de la TDT**

- **Cobertura masiva a bajo costo:** Es eficiente en zonas donde el internet es limitado, tiene un acceso amplio a contenidos sin cuotas de suscripción ni una red fija, importante en Ecuador durante la transición digital.[20]
- **Eficiencia espectral y robustez:** Tecnológicamente, la TDT emplea características como OFDM segmentado y corrección de errores (FEC), lo que le permite evitar interferencias y señales reflejadas a su máximo potencial y proporcionar una mejor recepción. La flexibilidad en la modulación y configuración FFT también adapta la transmisión desde el punto de vista de la capacidad del canal o la robustez ambiental.[22]
- **Multiprogramación y movilidad:** Permite la transmisión de más de un canal en alta y estándar definición y servicios móviles como One-Seg en el mismo canal. Esto permite a la audiencia cambiar de dispositivos sin perder la continuidad que ofrecen sus programas favoritos[23].
- **Señalización estandarizada:** Es capaz de monitorear servicios a través de señalización estandarizada por la Política de Seguridad de la Información (PSI/SI) y, en particular, esto permite a los receptores una forma segura de reconocer y gestionar servicios con relativa facilidad. Esta es una característica que promueve la interoperabilidad y proporciona una guía de navegación muy clara[24].
- **Interactividad y convergencia (según implementación):** Existe la posibilidad de canal de retorno con esta tecnología y de servicios interactivos vía decodificador de señal (STB)/Smart TV, es decir este ecosistema digital da paso a experiencias ampliadas[25].

#### **2.1.2 Estándar ISDB-Tb**

Dependiendo de la región, la transmisión de señales digitales (por ejemplo, aire, cable o satélite) está regulada bajo normativas específicas y generalmente de acuerdo con los estándares. Ecuador adoptó el estándar internacional ISDB-T (Transmisión Digital de Servicios Integrados Terrestres) mediante la resolución No. 0804-05-CONATEL-2010, especificando un rango de frecuencias dentro de un canal físico de 6 MHz de ancho. Este canal permite la transmisión de señales de audio, video y datos desde una o varias estaciones de televisión digital terrestre[23]. El estándar seleccionado por el gobierno ecuatoriano, ISDBTb (Servicios Integrados de Radiodifusión Digital – Terrestre Brasileño), se debió a sus ventajas técnicas y a una alineación más cercana con el estándar utilizado por la mayoría de los países latinoamericanos.

ISDB-Tb admite la multiprogramación (múltiples servicios por canal) y exige que el servicio One-Seg (móvil) sea obligatorio en todos los canales físicos; y la misma programación debe

ser retransmitida tal como la proporciona el servicio HD (alta definición) y SD (definición estándar) correspondiente[23]. Estos requisitos ayudan a garantizar la consistencia entre las transmisiones fijas y móviles de cada canal.

Cada estándar tiene características específicas, incluyendo: portabilidad y movilidad para ISDB-T; interactividad para DVB-T (Difusión de Video Digital – Terrestre); alta definición en puntos fijos para ATSC; y alta definición, movilidad y portabilidad para DTMB (Transmisión Multimedia Terrestre Digital)[22], [23], [24], [25].

### **2.1.3 Estructura de la TDT**

Estructura del Sistema TDT (ISDB-Tb). TDT es una cadena de nivel completo que comienza con la creación de contenido, pasa por la contribución y codificación, multiplexación y modulación OFDM, y finalmente termina en la transmisión de red de frecuencia múltiple y en una red de frecuencia única (MFN/SFN) y recepción en el hogar. En ISDB-Tb, cada canal de 6 MHz se estructura como 13 segmentos OFDM y se envía a MPEG-2 TS (Flujo de Transporte) utilizando tablas PSI/SI, lo que permite un descubrimiento y reconstrucción precisos de audio y video en el receptor[22], [23], [26].

### **Producción y Preparación de Contenido**

Durante el proceso de producción, el contenido se genera en estudios y salas de postproducción, utilizando infraestructura digital para manejar la información, como cámaras, mezcladores, sistemas de ingestión no lineal y de edición. Esto ayuda a mantener la consistencia desde la captura hasta el máster final. Luego, el contenido se envía al head/end mediante enlaces por Interfaz Digital en Serie (SDI) o por protocolo de internet (IP) para adaptar niveles, formatos y sincronización de tiempo entre las transmisiones, asegurando que todas las transmisiones estén listas para pasar al siguiente paso sin sorpresas.

A continuación, se lleva a cabo la compresión, el video generalmente se codifica en el formato H.264/AVC para HD/SD en la región, y en H.265/HEVC cuando las condiciones lo permiten; el audio se codifica en formatos AAC o AC-3, con el fin de reducir el bitrate y mantener la calidad[27]. Ahora también se deben hacer elecciones cuidadosas, especialmente en lo que respecta al perfil o nivel del códec o la arquitectura GOP(grupo de imágenes) para controlar la eficiencia/estabilidad de la imagen en escenas de movimiento.

Todas las fuentes básicas de audio y video se empaquetan juntas en PES (Flujo Elemental Empaquetado) y se ejecutan en un MPEG-2 TS. Simultáneamente, la señalización PSI/SI proporciona una señal para todos los servicios, PIDs (Controladores Proporcionales-Integrales-Derivativos) y parámetros requeridos por el receptor para ver y decodificar cada programa. Todo este recorrido técnico es esencial: las selecciones relacionadas con el códec, el bitrate (tasa de bits) y el GOP, así como la señalización específica, tienen un efecto claro en lo que el espectador llega a ver: la claridad visual real, la ausencia de banding (artefacto visual que se manifiesta como líneas o bandas horizontales en una grabación de video), la

estabilidad en secuencias rápidas y el tiempo de respuesta a un cambio de canal que no interrumpe la experiencia de visualización [24].

### **Modulación y Red de Transmisión**

Modulación COFDM (ISDB-Tb). En OFDM, el TS se modula con 13 segmentos; también se establecen la modulación (QPSK/16QAM/64QAM), la tasa de código FEC, el modo FFT (2k/4k/8k) y el intervalo de guarda (1/4...1/32). Mayor robustez (GI más grande, modulación y código "más fuertes") corresponde a una menor tasa de operación eficiente, y viceversa. Transmisores y excitadores[22]. Los excitadores y transmisores se alimentan en los headends que transfieren la señal al sistema radiante (antenas)[27].

### **Topologías MFN/SFN. MFN**

Cada transmisor utiliza una frecuencia diferente (operación menos compleja, menor eficiencia espectral). SFN: múltiples transmisores comparten la misma frecuencia y referencia de tiempo, y el intervalo de guarda toma el tiempo para absorber los retrasos y hace que el receptor recoja la señal adicional (mejor cobertura/eficiencia, mayor demanda de sincronización)[21].

### **Extensores de cobertura. Repetidores/traductores**

Retransmiten la señal (ajuste de nivel y filtrado). Regeneradores/repetidores en el mismo canal: demodulan/remodulan para mejorar MER/BER sobre regiones de sombra sin cambiar el canal RF[27].

### **Recepción del Usuario Final**

Antenas UHF. Individuales o en equipo, direccionales, completas con cableado correcto (75 ohms); pueden necesitar instalaciones con mástiles/amplificadores de distribución si es a escala colectiva[21]. Receptores. Televisores con sintonizador ISDB-Tb integrado o STB; el receptor demodula OFDM, corrige errores (FEC), interpreta Información de servicio (PSI/SI) y decodifica audio/video. Para la instalación la altura/ubicación de las antenas, la línea de visión y la calidad del conector afectan C/N, MER y BER son indispensables, con BER post-Viterbi  $\approx 0$ , alto MER y C/N adecuado, experiencias indistinguibles de la fuente real de la señal, mientras que con degradación RF, la calidad disminuye rápidamente (no se "ensucia" con el tiempo como en analógico)[28].

### **Aspectos Legales y Bandas en Ecuador**

Según la regulación nacional (ARCOTEL). La norma técnica para TDT empleará ISDB-Tb y especificará requisitos de canalización en UHF 470–698 MHz con canales de 6 MHz (por ejemplo, 21–51), y asignará 608–614 MHz (canal 37) para radioastronomía. También se define la intensidad de campo protegida ( $\approx 51$  dB $\mu$ V/m en recepción fija al aire libre), redes MFN/SFN, máscaras de espectro y pautas de protección contra interferencias[22], [23].

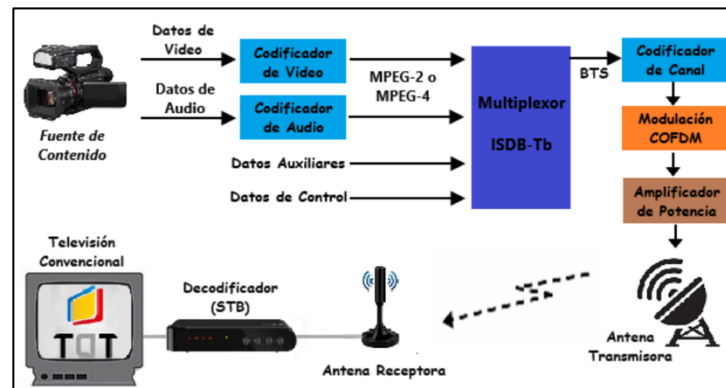
Además con el plan maestro propuesto se escribe las fases de transición/"simulcast"[7] y criterios de despliegue en ciudades; permite reasignaciones temporales para optimizar la cobertura durante la migración y en la parrte de servicio TDT es gratuito y accesible para

todos, no se requiere banda ancha, por lo que puede ser ideal para ciudades y áreas con acceso limitado a Internet.

A continuación se muestra el funcionamiento de la TDT.

Ilustración 1

*Funcionamiento completo de la TDT*



Nota: Adaptado de “Estructura general del sistema TDT” [Imagen], por R, Samaniego, 2025 (<https://n9.cl/85ax6>)

Tabla 1

*Resumen de parámetros prácticos e impacto de la TDT en QoE*

| Elemento             | Parámetro / Práctica                   | Impacto en QoE  |
|----------------------|--|---|
| Canal RF             | 6 MHz (UHF 470–698 MHz; p. ej., 21–51) | Capacidad total disponible por canal.                         |
| Segmentación         | 13 segmentos OFDM                      | Flexibilidad para servicios/robustez                          |
| Modulación           | QPSK / 16QAM / 64QAM                   | 64QAM ↑bitrate, ↓robustez (más sensible a C/N).               |
| FEC (Tasa de código) | $\frac{1}{2} \dots \frac{7}{8}$        | Códigos“fuertes”<br>↑robustez, ↓tasa útil                     |
| Modo FFT             | 2k / 4k / 8k                           | 8k favorece SFN y entornos multipath                          |
| Intervalo de Guarda  | $\frac{1}{4} \dots \frac{1}{32}$       | GI grande absorbe ecos/llegadas tardías;<br>reduce capacidad. |
| Transporte           | MPEG-2 TS + PSI/SI                     | Descubrimiento y zapping confiables                           |
| KPIs RF              | MER, C/N, BER (pre/post)               | Con MER alto y VER post=0, QoE estable.                       |
| Red                  | MFN / SFN                              | SFN mejora cobertura/eficiencia exige sincronización.         |

Nota: Fuente de Autor.

#### **2.1.4 Televisión por Protocolo de Internet (IPTV)**

El servicio de IPTV constituye una plataforma multimedia integral que integra la transmisión de video, audio y datos mediante un protocolo IP[29], [30]. A diferencia de los tradicionales servicios de televisión digital, IPTV ofrece una variedad de aplicaciones complementarias, tales como videos bajo demanda (VOD), voz sobre IP (VoIP), grabación de video personal (PVR/nPVR) y guías de programación electrónica (EGP). Esta diversidad funcional ha dado lugar al denominado paquete de servicios Triple Play, que combina voz, video y datos en una misma solución[30]. Su creciente adopción está transformando la forma en que los usuarios acceden a información y entretenimiento, consolidándose como una experiencia de servicio integral más que como un simple protocolo técnico.

Para garantizar el éxito de estos servicios innovadores, los proveedores de IPTV deben considerar múltiples factores críticos. Entre ellos destacan el retraso y las fluctuaciones en la transmisión de la señal, la cantidad de paquetes de datos recibidos fuera de secuencia, la probabilidad de pérdida de información y la posibilidad de fallas en la red, entre otros elementos determinantes[18]. En Ecuador, el servicio de IPTV ha experimentado un desarrollo notable en los últimos años. En 2013, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) inició una prueba piloto de IPTV en Quito, ofreciendo a los usuarios acceso a 35 canales, de los cuales 20 eran nacionales y 15 internacionales[31].

A pesar de estos avances, la adopción de IPTV en Ecuador enfrenta desafíos significativos, especialmente en relación con la piratería digital. Estudios recientes indican que Ecuador es el tercer país de Latinoamérica con mayor consumo de contenido pirata, lo que afecta negativamente el desarrollo de servicios legales de IPTV y genera pérdidas económicas para el sector[32].

En cuanto a la calidad de imagen y sonido, la IPTV tiene el potencial de ofrecer transmisiones en alta definición (HD) y ultra alta definición (UHD), siempre que los usuarios cuenten con una conexión a internet adecuada[33]. Sin embargo, la calidad del servicio puede verse afectada por factores como la latencia, el retardo y la pérdida de paquetes de datos, lo que puede influir en la experiencia del usuario[34]. Para garantizar una experiencia óptima, es esencial que los proveedores de IPTV en Ecuador inviertan en infraestructura de red robusta y adopten medidas para combatir la piratería, promoviendo así el uso de servicios legales y de alta calidad.

IPTV también es la entrega de servicios de televisión y audiovisuales a través de redes IP gestionadas por operadores, donde se proporciona la infraestructura completa para atender a cada consumidor individual, incluyendo la ingesta de datos, el transporte y la reproducción. A diferencia del "Internet abierto", la red desplegada por el proveedor está diseñada y gestionada dimensional o técnicamente, permitiendo canales en vivo y servicios bajo demanda, con características de control de calidad (priorización, buffers, mediciones de



pérdida/jitter) y funciones de gestión de contenido (EPG, control de acceso) realizadas en una plataforma integrada (servidores de video + terminales de cliente)[35].

En realidad, IPTV se utiliza como una solución multimedia que ofrece no solo TV lineal sino también video, audio y datos integrados, para VOD, grabación personal (PVR/nPVR) y guía electrónica. Esta visión de ‘servicio convergente’ refuerza que IPTV no es un protocolo tan simple como IP, sino un servicio gestionado que proporciona múltiples funcionalidades sobre IP. La UIT (Y.1910) categoriza las estrategias de arquitectura IPTV dentro de las redes IP (sin NGN o con NGN/IMS), como un marco conceptual de referencia, pero se podría perdonar por creer que todo es una entrega controlada de TV a través de IP y bloques de captura, servidores de video y distribución de red[35].

### **Ventajas técnicas y operativas de IPTV**

- **Red gestionada de extremo a extremo:** El sistema IPTV combina captura de video/servidores, distribución y cliente en una única plataforma/estructura central o forma de sistema distribuido para gestionar la capacidad, ubicación y dimensionamiento de la red específicamente diseñado para TV (es decir, gestión real). Esto se manifiesta en la arquitectura inicial (captura-servidores-distribución-cliente) o en la elección de los servidores centrales o distribuidos para el tamaño y la robustez de la red[36].
- **Eficiencia de TV en vivo por el uso de IP multicast:** La distribución de canales lineales sobre multicast no replica la transmisión para cada usuario y sirve a una audiencia mucho más grande de manera eficiente utilizando la columna vertebral del operador. Sus mediciones (medidor/analizador) demuestran la configuración y el descubrimiento de transmisiones multicast y sus mediciones en el cliente de medición, así como el estado de IGMP y FEC[35].
- **Monitoreo granular de entrega (KPIs de IP específicos):** En el sistema, podemos medir el uso del búfer, la tasa de bits de TS, la pérdida de RTP, los paquetes reparados por FEC y el Índice de Entrega de Medios (MDI) (tanto el retraso como la pérdida promedio), con umbrales recomendados de retraso (por ejemplo, retraso de MDI < 100 ms; pérdida < 0.005 pkt/s), utilizados para rastrear operativamente, por ejemplo. Esto permite asociar el contexto de la red y la experiencia (bloques, sacudidas, pausas) con las condiciones de la red[37].
- **Calidad visual/audio consistente (cuando la red está bien dimensionada):** La provisión digital soporta una imagen clara contra interferencias típicas de los sistemas analógicos; además, con características como guía electrónica, control parental o grabación: se puede usar una interfaz de usuario en la plataforma[36].
- **Escalabilidad y evolución de la arquitectura:** Como también proporcionas en tu literatura, mencionaste que uno de los tres enfoques de arquitectura IPTV (sin NGN, NGN/IMS, NGN-IMS) es efectivo para planificar migraciones y escalar la plataforma, asegurando la continuidad del servicio al usar el mismo IPTV[36].
- **Mayor capacidad en las últimas millas, cuando se aprovecha:** GPON proporciona una respuesta mucho mejor de retraso/jitter para IPTV que ADSL en tus

experimentos, lo que habla de la fiabilidad y simplicidad de las redes de acceso modernas para mantener un servicio estable y confiable. También se mencionan anchos de banda de referencia (por ejemplo, ~8 Mbps para HD) como una guía práctica de dimensionamiento[36].

### **Formatos de Transporte y Entrega**

IPTV no es un protocolo en si mismo, sino una denominación que engloba algo mucho más[38] amplio por ello usa algunos formatos de transporte y entrega.

- **MPEG-2 Transport Stream (TS) para TV en vivo sobre RTP/UDP:** Este es el formato base de transporte para audio y video, y se transporta como paquetes IP[38].
- **Distribución multicast IP (join/leave con IGMP) para canales lineales:** el mecanismo de eficiencia cuando muchos usuarios ven el mismo canal[38].
- **Entrega unicast:** Para el contenido de baja demanda (VoD/NPVR), almacenamiento en búfer en el lado del cliente para fluctuaciones y pérdidas[38].
- **FEC:** (corrección de errores hacia adelante) y métricas de flujo RTP visibles en equipos de medición/cliente (paquetes reparados, pérdidas, etc.)[38].

### **Señalización/control y métricas de calidad en el campo.**

- **IGMP** para control de grupos multicast (suscripción a canales)[39].
- **MDI** (Índice de Entrega de Medios) como un indicador de calidad operativa de la entrega (componentes de retraso y pérdida), con umbrales recomendados para una operación estable [39].

### **Los códecs y formatos de compresión utilizados en la plataforma.**

- **Video:** referencia al uso de H.264/AVC (despliegues crecientes en H.265/HEVC) durante la preparación de la señal para IPTV[37].
- **Audio:** AAC/AC-3 dependiendo del canal[36].

#### **2.1.5 Estructura de IPTV**

IPTV es un servicio de televisión que opera sobre redes IP gestionadas por el operador. Su diseño conecta varios bloques funcionales, desde la adquisición de contenido hasta la reproducción en el hogar, para asegurar una entrega eficiente y estable de audio y video.[36]

### **Producción, adquisición y codificación**

- **Captura/ingestión de señales.** El flujo comienza con la adquisición del contenido (canales en vivo, películas, series o eventos)[36].
- **Compresión y preparación.** Los materiales se codifican con estándares de video (MPEG-2, MPEG-4/H.264/AVC o H.265/HEVC) y audio AAC o AC-3. La compresión tiene la característica de reducir la tasa de bits y permitir el transporte de múltiples canales con una calidad visual y sonora aceptable[36].

### **Servidores en el almacenamiento y la plataforma**

- Servidores de medios. Almacenan el contenido codificado y responden a las solicitudes de los usuarios (en vivo y VoD) mientras gestionan la entrega de este contenido a través de la red[36].
- Para la gestión de derechos (DRM/CAS). El contenido está protegido y solo puede ser reproducido por clientes autorizados mediante autenticación y control de acceso[36].

### **La red de transmisión del operador**

- Red central IP. Rutean y transportan flujos desde el núcleo de la plataforma hasta la última milla. También necesita dimensionarse con suficiente capacidad y baja latencia para ofrecer una experiencia fluida, especialmente en vivo.
- Redes de acceso (última milla). Vinculan la infraestructura del proveedor y el equipo del suscriptor (FTTH/GPON, HFC o xDSL) y permiten el flujo bidireccional necesario para señalización, control y entrega.

### **Distribución de contenido. Multicast (canales en vivo)**

- Multicast (canales en vivo) Un flujo se envía a varios usuarios que "se suscriben" a ese canal, y así se maximiza el ancho de banda cuando hay grandes audiencias.
- Unicast (VoD/NPVR). Hay un flujo cuando se emite una solicitud, brindando personalización (pausa, avance rápido/retroceso, grabaciones en red).
- Balanceo de carga. El servicio permite distribuir información entre varios servidores/nodos para hacer que su servicio sea más disponible y eficiente.

### **Equipos de usuario**

Set-Top Box (STB) o aplicación en Smart TV. Reciben flujos IP, desempaquetan y decodifican audio y video, y lo muestran en pantalla. Normalmente incluyen EPG, subtítulos, audio multicanal y otras funciones interactivas.

Dispositivos adicionales. El acceso puede proporcionarse en aplicaciones móviles, tabletas o PC.

### **Calidad de Servicio (QoS) y Calidad de Experiencia (QoE)**

Por esta razón, la plataforma necesita controlar el tráfico y los búferes para minimizar la pérdida de paquetes, el jitter y la latencia, o las pausas (buffering), así como los bloqueos dentro de la imagen o la desincronización A/V. Esto es especialmente crucial en eventos en vivo donde el control de estos parámetros es de suma importancia[40].

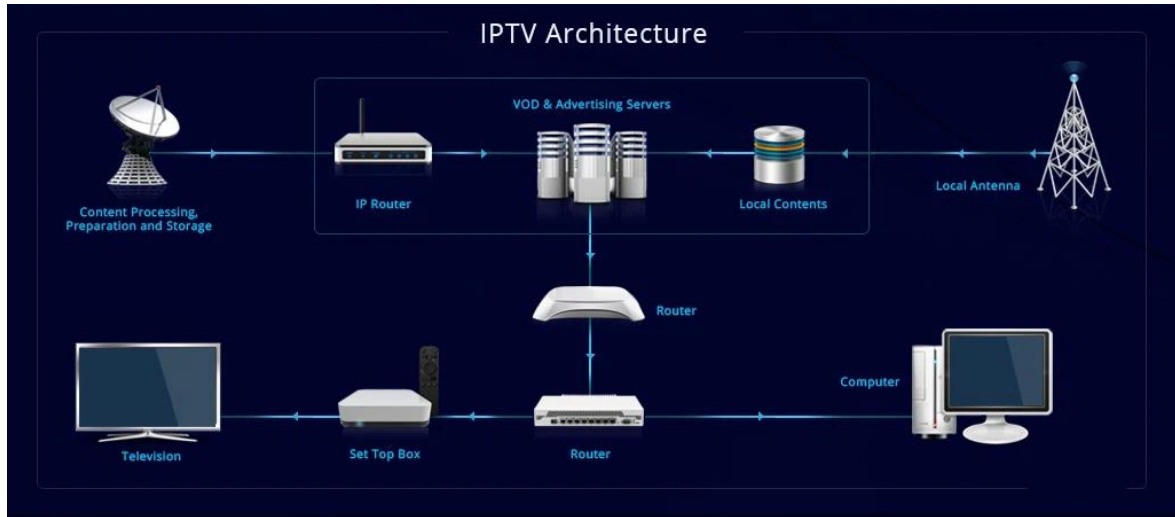
### **Consideraciones legales y regulatorias**

IPTV está regulado por la ley nacional y sujeto a varias regulaciones legales: títulos/licencias habilitantes, obligaciones de calidad y servicio al usuario, derechos de autor y procesamiento de datos personales. Estas regulaciones establecen la oferta, el contenido y las pautas del servicio[41].

A continuación se muestra en la Ilustración 2 el funcionamiento de IPTV

### Ilustración 2

#### Funcionamiento completo de IPTV



Nota: Adaptado de “Arquitectura de red IPTV” [Imagen], por Rina Tech, 2019  
<https://n9.cl/13kd2>

Tabla 2

#### Parámetros prácticos en impacto en QoE

| Elemento / KPI   | Qué medir / configurar                         | Umbrales o referencia operativa                                  | Impacto típico en QoE   |
|------------------|--|--|---|
| Transporte Live  | MPEG-2 TS sobre RTP/UDP en IP multicast (IGMP) | Multicast habilitado, TS detectable como SPTS/MPTS               | Entrega eficiente y estable en vivo; base para zapping ágil.  |
| Control de Grupo | IGMP v1/v2/v3 (join/leave)                     | Versión acorde a red; v3 permite fuentes aprobadas               | Cambios de canal más predecibles; menos pérdidas al conmutar. |
| Bitrate de TS    | “Tasa de bits TS” del flujo recibido           | Estable (sin serrucho pronunciado)                               | Si oscila mucho: macro-blocking, tirones en movimiento.       |
| Uso de Buffer    | “Uso de buffer” del cliente/medidor            | Debería mantenerse en zona “saludable” (sin vaciados frecuentes) | Si el buffer se vacía: pausas (rebuffering) o congelamientos. |
| MDI – Delay (DF) | Media Delivery Index (delay factor)            | < 100 ms (recomendado)   | Si sube: aumentan picos de “tirones” y riesgo de pausa.       |

|                                 |  |   |   |
|---------------------------------|--|---|---|
| MDI – Loss (MLR)                | Pérdida media de paquetes (RTP)                        | < 0.005 pkt/s (recomendado)                           | Si sube: bloques visibles y cortes de audio.                      |
| Pérdida RTP / FEC               | Paquetes RTP perdidos y reparados por FEC              | Ideal: pérdidas mínimas; FEC corrige puntuales        | Demasiadas pérdidas → artefactos; FEC ayuda pero no milagros.     |
| IPTD / IPDV                     | Retardo y variación (tipo PING/IPTD/IPDV)              | Retardos bajos y estables                             | Retardo/jitter altos → zapping lento, micro-cortes.               |
| Diagnóstico IP                  | Visor de Ethernet/IP/UDP/RTP y registro de red         | Ver IGMP, ARP, DHCP; analizar cabeceras               | Permite localizar la capa donde se degrada la entrega.            |
| Códecs y formato                | Video H.264/AVC (creciente H.265/HEVC); audio AAC/AC-3 | Resoluciones típicas 720p/1080p                       | Bitrate/codec/GOP adecuados → nitidez y fluidez mejores.          |
| Capacidad de modo IPTV (equipo) | Rango de IP multicast, puertos y bitrate máximo        | Multicast 224.0.0.0–239.255.255.255; hasta 80 Mbit/s  | Asegura que la sonda no sea el cuello de botella.                 |
| Última milla (referencia)       | Acceso GPON vs ADSL (escenarios locales)               | GPON ofrece menor pérdida/jitter vs ADSL en multicast | GPON más confiable para live; ADSL tiende a más pérdidas/retardo. |

Nota: Fuente de Autor

### 2.1.6 Sistema Over the Top (OTT)

Las plataformas OTT, comúnmente denominadas servicios de streaming televisivo, representan un modelo de distribución de contenido multimedia que permite a los usuarios acceder a deportes, películas y series de televisión a través de una conexión a Internet[42]. Estas plataformas se caracterizan por sustentar su operación en dos pilares fundamentales: la producción de contenido original y el desarrollo tecnológico de sus interfaces digitales. Además, para asegurar un funcionamiento eficiente y adaptarse a las crecientes demandas de los consumidores, requieren la colaboración de diversos agentes económicos que faciliten la infraestructura de red necesaria para su operación.

Aunque existen diversas variantes dentro del ecosistema de plataformas OTT, estas comparten una serie de características. Un aspecto clave para comprender la orientación estratégica de cada servicio radica en la influencia de “la cobertura del operador es determinante para definir la oferta de contenido audiovisual en streaming”[43]Una vez que

las plataformas definen su contenido audiovisual y perfilan las preferencias de su audiencia, emergen tres elementos distintivos. El primero es el volumen de inversión disponible que condiciona de manera directa la calidad y diversidad del catálogo ofrecido. Por otro lado, las plataformas pueden sostenerse mediante suscripción, publicidad, alquiler o combinaciones de estos formatos. Y que ¡a pesar de ciertas similitudes entre servicios, cada plataforma busca diferenciarse, a través de su imagen corporativa y su enfoque hacia un público objetivo específico[44].

En Ecuador, las plataformas OTT han ganado una notable popularidad, ofreciendo a los usuarios acceso a una amplia gama de contenidos a través de internet. Servicios internacionales como Netflix, HBO Max, Amazon Prime Video, Star+ y Disney+ están disponibles en el país, con precios que varían según la plataforma y el plan seleccionado[45]. En cuanto a la calidad de imagen y sonido, las plataformas OTT en Ecuador buscan proporcionar transmisiones de alta calidad, incluyendo opciones en alta definición (HD) y ultra alta definición (UHD). Sin embargo, la experiencia del usuario puede verse afectada por factores como la velocidad y estabilidad de la conexión a internet, la capacidad de los servidores de la plataforma y la compatibilidad con los dispositivos utilizados. Por ejemplo, durante la transmisión de eventos en directo, algunas plataformas han enfrentado desafíos técnicos que impactan la calidad del servicio [46].

Para garantizar una experiencia óptima, es esencial que los proveedores de OTT en Ecuador inviertan en infraestructura tecnológica robusta y colaboren con operadores de red locales para asegurar una distribución eficiente del contenido. Asimismo, deben enfocarse en la producción de contenido original y en el desarrollo de interfaces digitales intuitivas para satisfacer las expectativas de los consumidores ecuatorianos. El mercado de plataformas OTT en Ecuador está en crecimiento, ofreciendo a los usuarios una variedad de opciones para acceder a contenido multimedia. La calidad de imagen y sonido es un aspecto crucial que depende tanto de la infraestructura tecnológica de los proveedores como de las condiciones de conectividad en el país.

Las plataformas OTT han revolucionado el consumo de contenido audiovisual al brindar una oferta flexible y personalizada, lo que las convierte en una opción atractiva para los usuarios ecuatorianos. Su capacidad para ofrecer contenido bajo demanda y transmisiones en alta calidad destaca en un mercado cada vez más digitalizado. Sin embargo, su eficacia depende en gran medida de la infraestructura de red y la estabilidad de la conexión a internet, lo que puede limitar su accesibilidad en zonas rurales. Una colaboración activa entre proveedores y operadores locales, junto con una mayor inversión tecnológica, es fundamental para potenciar su crecimiento y satisfacer las demandas del público.

## Ventajas técnicas y operativas de OTT

- **Ampliamente disponible en múltiples dispositivos y sin necesidad de instalación en el hogar:** Las plataformas OTT están disponibles en línea a través de Smart TVs, STBs, smartphones, tablets o PCs sin un decodificador dedicado del operador; una aplicación y una conexión a Internet son suficientes[47], [48].
- **Elasticidad y alcance a través de Internet público:** OTT aprovecha la red pública y también opera en CDN para llegar al usuario final a gran escala, para cubrir entregas en vivo y VoD en masa[48].
- **Modelos de negocio flexibles (SVOD/AVOD/TVOD):** Soporta modelos de suscripción, publicidad y transaccionales, que pueden combinarse, con un crecimiento sostenido del mercado y de la inversión publicitaria[47], [48], [49].
- **Datos avanzados y segmentación:** Las plataformas recopilan eventos de consumo y pueden segmentar y dirigir anuncios, lo que significa que los anunciantes obtendrían más por su inversión[48].
- **Funcionalidades de valor añadido para el usuario:** VoD, experiencia de cambio de tiempo/catch-up y "ver en cualquier lugar" promueven la adopción y minimizan la dependencia de horarios lineales[48].
- **Los operadores/creadores tienen un umbral de entrada mínimo:** Las soluciones OTT llave en mano y PaaS minimizan la integración así como la complejidad operativa[48].
- **Ventajas para campañas y medios:** Costos de compra más bajos que la TV tradicional, control de autoservicio, menos saturación publicitaria; mayor recuerdo e incluso "pausa para comprar"[49].

### 2.1.7 Arquitectura del sistema OTT

En la práctica, OTT se compone de preparación de contenido, empaquetado/transmisión, CDN y aplicaciones cliente. Un servicio OTT típico opera con middleware que maneja suscriptores, catálogo, EPG y estadísticas a un nivel integral[48].

#### Ingesta de video y cabecera

- **Recepción y transcodificación:** La fuente (satélite/terrestre/IP) captura, transcodifica en perfiles apropiados y genera perfiles alineados para transmisión adaptativa[48].
- **Segmentación y empaquetado:** Los flujos se segmentan (por ejemplo, HLS) y se publican en servidores de transmisión para consumo OTT[48].
- **Protección de contenido:** DRM encripta los flujos y controla el acceso por dispositivo/usuario[48].

#### Middleware y análisis

- **Portal de administración/CSMS:** Gestiona suscriptores, contenido, paquetes, integración con facturación/provisión y coordina servicios en vivo/VoD/grabaciones con CDN/DRM[48].

- **Aplicaciones cliente y métricas:** Las aplicaciones se autentican con CSMS e informan eventos de consumo (telemetría) para análisis y optimización de catálogo/UX[48].
- **Estadísticas de TV:** Recoge el uso en múltiples dispositivos para perfilar audiencias y apoyar la monetización[48].

### **Distribución y entrega**

- **CDN (origen - borde):** El contenido empaquetado se distribuye a través de CDN; el reproductor recupera segmentos del nodo de borde (edge) más conveniente a través de Internet[48].
- **Streaming en vivo y VoD:** Los servidores publican canales en vivo y VoD; también soportan grabaciones (nPVR) según las instrucciones de CSMS[48].

### **Cliente y reproducción**

- **Aplicaciones en STB/Smart TV/móvil/PC:** El usuario selecciona el contenido y el reproductor recupera el manifiesto/segmentos del borde y reproduce en tiempo real[47], [48].

## **Características Técnicas de OTT**

### **Transporte y Red**

- **Multiplexación sin "Head-of-line blocking":** HTTP/3 junto con QUIC es independiente: si un flujo pierde paquetes, no ralentiza a los demás. Esto reduce las latencias y lo hace más predecible para la transmisión adaptativa de tasa de bits (ABR)[50].
- **Conexión rápida y cifrada diseñada:** QUIC incluye TLS 1.3 y acelera la conexión con una configuración rápida: zapping rápido y para activar el inicio en vivo de video[50].
- **Fácil de entender:** HTTP/3 superpone la semántica de HTTP en QUIC para que obtenga multiplexación de flujos, control de flujo y reducción del tiempo de configuración[50].

### **Empaquetado y ABR**

- **Manifiestos HLS/DASH y segmentos de múltiples tasas de bits:** el cliente selecciona un conjunto de resoluciones o tasas dependiendo de la red y la capacidad almacenada en búfer; objetivo de minimizar el almacenamiento en búfer[51].
- **Archivos de control:** HLS usa manifiesto, DASH usa MPD (Descripción de Presentación de Medios), con la descripción de versiones y segmentos; su medidor podrá leerlos y graficar las tasas de bits descargadas reales[51].



## OTT-Métricas Cuantitativas de QoE

- **Arranque inicial (Time to first frame) y relación de rebuffering:** claves para la percepción. (Todo se trata de la latencia de conexión y la variabilidad de la red; HTTP/3 es útil)[50].
- **La tasa de cambios de calidad y la estabilidad del bitrate:** se puede derivar del MPD/manifiesto + trazas de descarga[51].
- **Sincronización A/V y latencia en vivo de extremo a extremo:** tamaño de segmento y sensibilidad de la política de búfer (si está evaluando deportes en vivo, entonces regístrelo)[51].

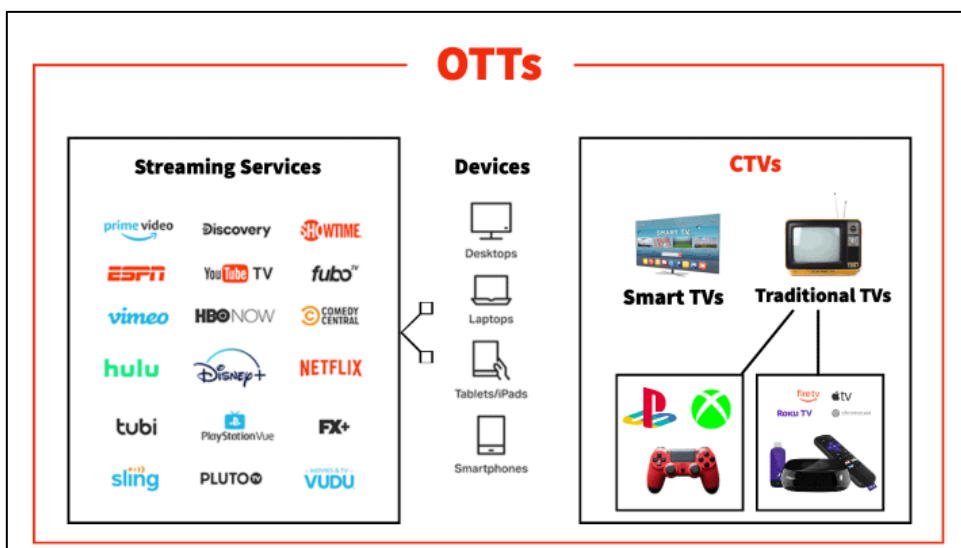
## Regulación y contexto del país

- **Política pública de banda ancha:** MINTEL ha estado impulsando un plan para ampliar la banda ancha; una penetración del +10% es +0.52% del PIB (perspectiva útil como contexto para la razón por la cual OTT se está volviendo popular)[52].
- **Marco de fomento ARCOTEL:** recuerde que los servicios IP se proporcionan a través de títulos/habilitaciones basados en LOT y regulaciones; la autoridad tiene la oportunidad de definir un nuevo servicio a medida que la tecnología mejora (cite como ilustración la resolución de IoT cómo se actualiza el catálogo para la categoría de servicio utilizada)[53].
- **Hecho específico:** ARCOTEL describió la conectividad IoT como un servicio de régimen general (implicando directamente un enfoque de servicio para cómo la autoridad autoriza nuevos modelos sobre IP). Use esa lógica para sugerir que OTT existe en un entorno regulatorio en constante cambio[53].

A continuación se muestra el funcionamiento de OTT:

### Ilustración 3

#### Funcionamiento completo de OTT



Nota: Adaptado de "OTTs" [Imagen], por Criterion Global, 2023,  
<https://criterionglobal.com/es/faq/ott/>

*Tabla 3*  
*OTT: KPIs prácticos y su impacto en la QoE*

| KPI / Elemento                    | Cómo se obtiene en tus pruebas  | Regla/Referencia útil  | Impacto típico en QoE   |
|-----------------------------------|---|--|---|
| Manifiesto/MPD + Representaciones | El medidor descarga MANIFEST/MPD y muestra la representación seleccionada | “El medidor puede recuperar y mostrar... y visualizar gráficamente el bitrate” | Base del ABR: documenta perfiles, tasas y selección real.     |
| Bitrate por segmento              | Gráfica de bitrate de descarga  | Vista “OTT 2/2” con secuencia de segmentos (OK/failed)                         | Estabilidad de calidad; serrucho excesivo → cambios visibles. |
| Tiempo de inicio (TTFF)           | Medible por logs del player/medidor                                       | HTTP/3/QUIC reduce setup/latencia de conexión                                  | TTFF alto reduce satisfacción inicial.                        |
| Rebuffering (ratio y eventos)     | Trazas del cliente/analytics del middleware                               | CSMS/estadísticas de TV recogen eventos de consumo                             | Pausas percibidas; el factor crítico de QoE.                  |
| Cambios de calidad (switches)     | Comparando tasa/representación vs tiempo                                  | ABR según red/buffer; manifest/MPD describe opciones                           | Switches frecuentes → inestabilidad visual.                   |
| Errores de segmento (failed)      | Registro “OTT 2/2” (OK/failed)  | Indicador directo de salud de entrega/CDN                                      | Pérdidas → congelamientos o caídas.                           |
| Protección de contenidos (DRM)    | Validación de reproducción en cliente                                     | Cifrado y control de acceso integrados   | Evita bloqueos por incompatibilidades; asegura oferta.        |
| Red/transporte                    | Si la app usa HTTP/3/QUIC   | Multiplexación por flujo; TLS 1.3 integrado                                    | Menos “head-of-line”, arranque y zapping más ágiles.          |

Nota: Fuente de Autor

## CAPÍTULO III

### 3.1 Metodología

El estudio busca evaluar, en Cuenca (Ecuador), las diferencias percibidas de calidad por el usuario (QoE) entre TDT (ISDB-Tb), IPTV y OTT cuando se administran bajo condiciones de prueba homogéneas (misma pantalla, mismo entorno, mismo o equivalente contenido). El diseño sigue las recomendaciones de ITU-R BT.500 para evaluaciones subjetivas [54], ITU-T P.910 para servicios audiovisuales en redes IP [55], así como los principios de diseño experimental establecidos por Montgomery[56]. Se agruparon mediciones objetivas (técnicas) así como evaluaciones subjetivas (MOS) para cada tecnología, de modo que las diferencias obtenidas se determinen para reflejar con precisión el rendimiento de cada método de distribución, y no fallos de red externos o errores ambientales.

Para obtener una perspectiva integral sobre cómo se desempeña cada tecnología, el método de investigación utiliza un enfoque híbrido (tanto objetivamente como empíricamente).

A nivel cuantitativo, se realizaron diez mediciones independientes para cada tecnología (DTT, IPTV y OTT), basadas en principios de diseño experimental que recomiendan varias repeticiones cada vez que se establece una condición para asegurar la estabilidad estadística. Las métricas que se registraron del sistema incluyen nivel, MER, C/N y BER para DTT; latencia, jitter, pérdida de paquetes y tasa de bits efectiva para IPTV; así como retraso de inicio, tasa de bits adaptativa, búfer total, estabilidad de reproducción para OTT. Esto permite la caracterización de la variabilidad y el comportamiento técnico de cada sistema bajo condiciones de prueba homogéneas.

A nivel subjetivo, se emplea el método ACR (MOS 1–5) propuesto por ITU-R BT.500 e ITU-T P.910 y los participantes califican la calidad percibida de los clips en cuanto a su nitidez, fluidez y estabilidad visual. Esta evaluación está respaldada por breves notas de los participantes al final de cada sesión y notas de campo sobre el entorno (iluminación, distancia, entorno de visualización) para enmarcar los resultados. Los métodos utilizados para lograr esto se discuten a continuación:

#### **Hipotético-deductivo**

Se propone la hipótesis de que, bajo condiciones de prueba homogéneas, la calidad experimentada por el usuario diferirá debido a las tecnologías DTT, IPTV y OTT. Se Probó esta hipótesis analizando las puntuaciones MOS e indicadores técnicos de las diez repeticiones de cada tecnología.

#### **Enfoque lógico-inductivo**

Se observaron varios patrones de rendimiento como, por ejemplo, estabilidad de la señal, presencia de fluctuaciones o degradación perceptual, a través de mediciones y observadores. Aunque los pasos de inducción fueron parciales, el número de repeticiones y el número de participantes resultaron en conclusiones consistentes que se generalizaron al entorno local.

### Analítico-documental

Se analizaron regulaciones técnicas, estándares internacionales (ITU) y referencias operativas para TDT, IPTV y OTT. Para que esto funcione, fue imprescindible definir el conjunto mínimo de parámetros de calidad antes de cada prueba: Para TDT: MER, C/N y BER, dentro de límites razonables. Para IPTV/OTT: pérdida  $\approx 0\%$ , poco jitter, tasa de bits estable y sin rebuffering, dado el período de observación. Este proceso mantiene los resultados de QoE a la respuesta práctica del canal de distribución y no a interrupciones ambientales transitorias.

### 3.2 Tipo de Investigación

- **Aplicada:** Debido a que se propuso y ejecutó una metodología comparativa para probar, en condiciones de prueba homogéneas, qué canal de distribución (TDT/ISDB-Tb, IPTV, OTT) tuvo la mejor calidad percibida (QoE) en Cuenca. Esto no fue solo descriptivo: definió información práctica para operadores, usuarios y autoridades (por ejemplo, criterios de medición; buenas prácticas de entrega).
- **Descriptivo-comparativo:** Puesto que describió cada sistema en situaciones locales (pantalla, contenido, entorno de visualización) y evaluó su efectividad bajo el mismo entorno (mismo clip; misma pantalla, mismo entorno físico; condiciones mínimas de entrega por sistema). La tecnología y el género (noticias) informan patrones de rendimiento.
- **Explicativo (alcance limitado):** Debido a que examinó la QoE difiere entre las tecnologías, comparando MOS con las condiciones de entrega (por ejemplo, estabilidad de la tasa, sin pérdidas/rebuffering; umbrales de RF adecuados). Se definió este nivel explicativo: donde las redes y la transmisión no fueron manipuladas, pero el escenario es controlado para aislar el canal de distribución como el determinante principal.
- **Temporalidad y contexto:** Transversal, con recolección puntual en un solo punto en Cuenca con condiciones estandarizadas (iluminación, distancia, volumen, calibración básica de pantalla) y criterios mínimos de calidad de entrega antes de la evaluación (TDT: BER post-Viterbi  $\approx 0$  y MER/C/N adecuados; IPTV/OTT: sin pérdidas o rebuffering en la ventana del clip, tasa estable).

### 3.3 Diseño de Investigación

El estudio fue diseñado utilizando un enfoque experimental, comparativo y transversal para investigar la variación de la calidad audiovisual cuando el mismo contenido se entrega a través de TDT (ISDB-Tb), IPTV u OTT en el mismo entorno de visualización. Para alcanzar este objetivo, se diseñó un escenario controlado en Cuenca, con una pantalla ajustada en modo estándar, una habitación con iluminación constante, una distancia de visualización fija y clips similares entre tecnologías.

Se verificaron los parámetros mínimos de operación antes de las mediciones para mantener el comportamiento dinámico real del canal de distribución. Para TDT, se necesitó un BER

post-Viterbi  $\approx 0$ , así como valores aceptables de MER y C/N ( $\text{MER} \geq 28 \text{ dB}$  y  $\text{C/N} \geq 26 \text{ dB}$  para modulaciones 64-QAM en ISDB-Tb), que garantizan una recepción estable y una BER post-FEC prácticamente nula según los parámetros operativos recomendados para TDT. Esto es importante para IPTV y OTT, donde se requiere una pérdida  $\approx 0\%$ , así como bajo jitter, tasa de bits estable y sin rebuffering durante la ventana del clip. Esta validación significó que las mediciones y la percepción del usuario no fueron susceptibles a fallos circunstanciales, sino que dependieron del rendimiento inherente de cada tecnología.

La evaluación subjetiva se realiza mediante el uso de la escala ACR/MOS de 1 a 5 puntos, de acuerdo con ITU-R BT.500 e ITU-T P.910. Se mostraron los clips en orden y dando a los participantes información sobre la tecnología considerada pero que evalúen de forma imparcial, no comparativa cada una de las tecnologías. Todo lo perceptual se integró con un registro técnico junto con la fecha, parámetros mínimos, condiciones de la sala y características ambientales. Si alguna medición no cumplía con los requisitos mínimos (es decir, fluctuación de la señal, pérdida repentina o rebuffering), la prueba se repetía o se descartaba, verificando así la validez interna del experimento.

### 3.4 Técnicas de recolección de Datos

La recopilación de datos se centró tanto en métricas de rendimiento técnico como en la evaluación subjetiva de la calidad percibida bajo condiciones homogéneas. El enfoque incluyó 2 métodos principales: métodos subjetivos y mediciones técnicas objetivas.

- **Recopilación de datos con evaluación subjetiva ACR/MOS (1–5):** Los participantes calificaron la calidad genérica de clips de noticias y deportes (60–90 s) con el método de Calificación de Categoría Absoluta (ACR) en una escala del 1 al 5. Las presentaciones fueron aleatorizadas y prácticamente a ciegas según las recomendaciones de ITU-R BT.500. También se recopilaron comentarios breves relacionados con la fluidez, nitidez, claridad de voz y estabilidad perceptual para complementar el análisis numérico.
- **Registro de Entrega Técnica (criterios mínimos previos):** Se verificaron los umbrales mínimos para cada exposición por tecnología previa: TDT: BER post-Viterbi  $\approx 0$ , MER y C/N dentro del rango. IPTV/OTT: pérdida  $\approx 0\%$ , bajo jitter, un bitrate estable y no se observó rebuffering. Durante las mediciones, se registran el nivel de señal, latencia, jitter, buffering, bitrate y otros índices similares. Además, se documentaron las condiciones ambientales: la iluminación, tipo de pantalla, distancia y tiempo durante las pruebas. Este registro técnico garantiza que las diferencias percibidas correspondan al rendimiento real del sistema.
- **Repeticiones técnicas para crear una métrica objetiva del estudio:** Se utilizaron datos de sensores específicos, para el estudio se usaron diez mediciones independientes por tecnología como base objetiva para derivar la caracterización estadística del sistema. Dado esto, la repetibilidad fue de importancia crítica para estimar la estabilidad, variabilidad y consistencia técnica de la tecnología individual utilizada, consistente con la teoría de diseño experimental de Montgomery y las repeticiones de P.910 y BT.500.

### 3.5 Fases de ejecución

Este estudio tuvo como objetivo proporcionar una comparación estructurada de TDT frente a IPTV y OTT utilizando cinco fases, donde el diseño del estudio aseguró que la investigación se implementara bajo metodologías estándar, estandarizadas y válidas. A continuación, se presentan las fases del proceso.

#### Fase 1 - Planificación y Análisis

Durante esa fase, se estableció un único punto de prueba y un protocolo de visualización común (misma pantalla, misma distancia, iluminación constante y contenido equivalente) en la ciudad de Cuenca como escenario de estudio. Los criterios mínimos por tecnología, necesarios para garantizar la validez técnica de las mediciones:

- TDT: BER post-Viterbi  $\approx 0$ , MER y C/N dentro de rangos operativos estables.
- IPTV/OTT: pérdida  $\approx 0\%$ , bajo jitter, bitrate estable y ausencia de rebuffering durante la ventana del clip.

Además, se utilizó documentación técnica y regulatoria (ITU-R BT.500 e ITU-T P.910) para definir la técnica subjetiva MOS y el protocolo de grabación técnica. Se preparó la hoja MOS.

#### Fase 2 - Preparación del Escenario y Piloto

Se creó el entorno de prueba para obtener iluminación consistente, distancia de observación, nivel de audio y modos de visualización de pantalla. Los clips fueron preprocesados para garantizar que tanto la duración como el contenido de los videos correspondieran entre tecnologías.

Con solo 2–3 estudiantes, se llevó a cabo una prueba piloto para: ajustar instrucciones, corregir tiempos de presentación, validar la escala MOS, mejorar la logística y el orden aleatorio/contrabalanceado de las presentaciones. Esta fase permitió refinar el protocolo antes de la recolección final.

#### Fase 3 - Verificación Técnica y Recolección de Mediciones

Antes de cada grabación, se verificaron los umbrales mínimos por tecnología: Así para TDT se verificó que las condiciones de RF sean lo suficientemente buenas (MER, C/N y BER post-Viterbi  $\approx 0$ ); por su parte para IPTV/OTT, se observó la estabilidad de la red IP (pérdida  $\approx 0\%$ , bajo jitter y ausencia de rebuffering). Después de confirmar las condiciones, se realizaron diez mediciones independientes por tecnología para evaluar la fecha y hora de la medición, nivel de señal, parámetros técnicos relevantes (para la tecnología), condiciones ambientales y observaciones. La muestra fue eliminada y repetida si las mediciones no cumplían con los criterios mínimos.

#### Fase 4 - Evaluación Subjetiva ACR/MOS

Los participantes fueron 30 estudiantes de Ingeniería de Telecomunicaciones mayores de 18 años, que visualizaron los clips utilizando un esquema práctico y sabían qué tecnología se evaluaba. Todos calificaron la calidad general en una escala basada en MOS de 1 a 5 utilizando las recomendaciones ITU-R BT.500 e ITU-T P.910.

Los estudiantes hicieron breves elecciones al final de cada clip sobre nitidez, fluidez, estabilidad o fatiga visual, una descripción que reflejaba las puntuaciones subjetivas. Todas

las evaluaciones se vincularon a su correspondiente registro técnico como registros de trazabilidad.

### **Fase 5 - Análisis e Integración de Resultados**

Los datos de medición técnica y medición MOS fueron recopilados y consolidados, agrupados por tecnología. El análisis incluyó:

- Estadísticas descriptivas (media, desviación estándar, rango) para cada tecnología.
- Estabilidad de la señal, variabilidad, comportamiento operativo de TDT, IPTV, OTT (comparación técnica).
- Análisis perceptual utilizando las puntuaciones MOS, para descubrir qué patrones perceptuales son comunes a los participantes.
- Integración técnico-subjetiva, midiendo la estabilidad asociada con la calidad percibida.

Los objetivos del estudio se resumieron en forma de tablas, gráficos y análisis interpretativos. Por último, se informaron conclusiones y limitaciones para asegurar la consistencia metodológica y validez del protocolo aplicado.

### **3.6 Población de estudio y tamaño de muestra**

En este estudio, se categoriza entre dos niveles de análisis: uno basado en los datos estadísticos (sobre mediciones objetivas de señales) y el otro en la evaluación subjetiva (sobre evaluaciones perceptuales) tal como se realiza en MOS. Así, la población y la muestra se definen en dos términos, concurrentes con la naturaleza experimental del trabajo.

- **La población técnica:** Tiene toda la colección de tecnologías de transmisión analizadas: TDT (ISDB-Tb), IPTV y OTT. Estas tecnologías representan el universo finito de sistemas destinados a ser comparados en el estudio y, por lo tanto, constituyen una población exhaustiva bajo el diseño experimental.
- **Muestra Técnica:** La muestra técnica es igual a las diez mediciones independientes tomadas por tecnología. Cada una de estas mediciones se trata como una unidad experimental, describiendo las características del sistema cuando el sistema se comporta bajo las mismas condiciones de prueba. Las 10 repeticiones por tecnología (n) es una elección de diseño basada en criterios experimentales clásicos, según los cuales Montgomery afirmó que un rango de 4 a 6 réplicas es suficiente para lograr potencias entre el 80 y 90%; sin embargo, en este trabajo se utiliza un número mayor en el esquema de estimación para obtener estabilidad estadística y disminuir la incertidumbre de las estimaciones. La muestra técnica consta de 30 mediciones en total: 10 para TDT 10 para IPTV 10 para OTT Estas son mediciones para caracterizar la variabilidad, consistencia y efectividad operativa de cada sistema.
- **Población Subjetiva:** La población subjetiva consiste en posibles evaluadores que reciben capacitación para realizar evaluaciones de calidad audiovisual a través del método ACR/MOS, como estudiantes con conocimientos básicos de sistemas de telecomunicaciones. Este grupo está en línea con ITU-R BT.500 e ITU-T P.910, que especifican la necesidad de observadores independientes en estudios de percepción.
- **Muestra Subjetiva:** La muestra subjetiva fue deliberadamente muestreada y compuesta por 30 estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones. Este valor está

en el rango sugerido por estándares internacionales, a saber: ITU-R BT.500: indica mayores o iguales a 15 observadores para estabilizar promedios subjetivos. ITU-T P.910: sugiere que sean por lo menos 24 participantes forman un panel sólido para probar la calidad del video. Los participantes evaluaron de manera práctica los clips de las tres tecnologías y generaron calificaciones MOS, que complementan el análisis técnico.

### 3.7 Hipótesis

- **Hipótesis General (H1):** En Cuenca, bajo condiciones de prueba homogéneas (una pantalla, ambiente, clips), la calidad percibida (MOS) es diferente para TDT (ISDB-Tb), IPTV y OTT; al menos una de las tecnologías tiene un MOS promedio diferente.
- **Hipótesis Nula (H0):** No hay diferencias en el MOS promedio entre TDT, IPTV y OTT bajo las mismas condiciones.

### 3.8 Operacionalización de las variables

Tabla 4  
Variables dependientes e independientes

| Variable   | Tipo          | Descripción operacional  | Indicadores  | Técnicas e instrumentación  |
|--|---------------|--|--|---|
| <b>Calidad técnica de imagen y sonido por tecnología</b> | Independiente | Conjunto de características técnicas del servicio audiovisual (video + audio) en cada sistema de distribución: TDT (ISDB-Tb), IPTV y OTT, bajo condiciones homogéneas de prueba. | Medición técnica con Ranger Neo 4 (TDT) y herramientas de red/software (IPTV/OTT).                           | TDT: nivel, MER, C/N, BER. IPTV: latencia, jitter, pérdida, bitrate. OTT: start-up delay, bitrate efectivo, buffer. Diez mediciones por tecnología. |
| <b>Calidad percibida de audio y video (QoE)</b>          | Dependiente   | Juicio global de calidad de imagen y sonido emitido por los participantes al observar los clips de TDT, IPTV y OTT en el mismo   | Prueba subjetiva ACR/MOS con 30 estudiantes; presentación aleatoria y en ciego práctico; hoja de puntuación. | Puntaje MOS en escala 1–5 por clip; MOS promedio por tecnología; dispersión (DE, rango).  |



|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  | entorno. Incluye fluidez, nitidez, claridad del audio y sincronía A/V. |  |  |
|--|--|--|--|--|

### 3.9 Métodos de análisis, y procesamiento de datos

El análisis se dividió con respecto a dos niveles interrelacionados: técnico-objetivo y subjetivo-perceptual, que fueron necesarios para poder analizar el rendimiento de TDT, IPTV y OTT. El método se basó en la guía metodológica de ITU-R BT.500, ITU-T P.910, y los principios de diseño experimental introducidos en la investigación de Montgomery.

#### Procesamiento de datos técnicos

Se realizaron 10 mediciones independientes para cada tecnología (TDT, IPTV y OTT), en el entorno ideal (TDT) y en el entorno doméstico (IPTV y OTT). Tales mediciones correspondieron a la muestra técnica utilizada en el estudio y, cuando se utilizaron, también permitieron estimaciones sobre la variabilidad y predecir la estabilidad de los diversos sistemas.

Las 10 repeticiones se explican por tres bases metodológicas:

- **Diseño experimental (Montgomery):** 4 a 6 réplicas (por tratamiento) deberían ser suficientes para alcanzar una robustez estadística del 80 al 90%. Usar 10 repeticiones reduce enormemente las incertidumbres y mejora la estabilidad de las estimaciones.
- **ITU-R BT.500:** sostiene que las evaluaciones de calidad implican múltiples observaciones para lograr estabilidad estadística, y que entre 4 y 15 muestras por condición son adecuadas para el procesamiento.
- **ITU-T P.910:** establece que las pruebas audiovisuales deben necesitar una cantidad suficiente de repeticiones por condición para tener en cuenta no solo la variabilidad de la señal sino también el entorno IP.

En cuanto a la metodología y los estándares internacionales, las 10 mediciones por tecnología se consideran metodológicamente rigurosas basadas en estos parámetros.

Los parámetros técnicos considerados fueron:

- TDT: nivel, MER, C/N y BER post-Viterbi.
- IPTV: latencia, jitter, pérdida de paquetes, bitrate efectivo.
- OTT: retraso de inicio, bitrate adaptativo, eventos de buffering.

Para cada una de las 10 mediciones, se calcularon la media, desviación estándar, valor mínimo/máximo y rango de cada conjunto para cada sistema, proporcionando un análisis descriptivo que permite caracterizar la estabilidad operativa de cada sistema.

#### El entorno de medición y procesamiento de acuerdo con la normativa ITU

El análisis técnico tomó en consideración las condiciones de medición determinadas por los estándares de calidad audiovisual:

- **TDT en entorno ideal:** Según ITU-R BT.500, por lo que deben darse las mejores condiciones posibles para la evaluación cualitativa mientras se intenta comprender el máximo rendimiento del sistema. El mirador de Turi en Cuenca cumple con el requisito debido a la visión directa al repetidor, minimización de interferencias, reducción de multipath y estabilidad de la señal. Bajo estas condiciones, los indicadores de TDT representan su máximo rendimiento, no limitaciones externas.
- **IPTV y OTT en el hogar:** BT.500 y P.910 sugieren la necesidad de evaluar los sistemas basados en IP en el entorno del usuario bajo condiciones, como Wi-Fi, cableado doméstico y tráfico real. Esto permitió cuantificar las características inherentes del canal IP y evaluarlo para la calidad como lo desearía el usuario final.

Este enfoque combinado permitió que los resultados muestren el mejor rendimiento técnico posible (TDT) así como el rendimiento en el uso real (IPTV/OTT).

### **Procesamiento de los datos subjetivos (MOS)**

Las puntuaciones MOS de 30 estudiantes se agruparon en matrices por tecnología, clip y participante. El procesamiento se lo realizó de la siguiente manera:

Se calculó el MOS promedio por tecnología, análisis de variabilidad, identificación de patrones perceptuales y relación perceptual entre tecnologías.

Este análisis cumplió con las directrices de ITU-R BT.500 e ITU-T P.910 para el análisis audiovisual subjetivo.

### **Integración técnico-perceptual**

Los resultados técnicos (10 mediciones por tecnología) se analizaron en comparación interpretativa con las puntuaciones MOS, lo que permitió identificar que las tecnologías que tuvieron más estabilidad técnica tuvieron a su vez una mejor puntuación MOS, si la variabilidad técnica se manifiesta en la percepción, en cuyo caso el entorno moldea la interacción del usuario con el contenido.

### **Herramientas de procesamiento**

Para el análisis, se utilizaron: hojas de cálculo y software de análisis Excel, Python, VLC y el medidor de campo Ranger Neo 4 para la extracción de indicadores IPTV/OTT, mientras que para OTT, se utilizó el medidor de campo Ranger Neo 4 para mediciones TDT, registro de plantillas MOS y el entorno técnico.

## CAPÍTULO IV

### 4.1 Resultados de las mediciones técnicas

#### 4.1.1 Medición de TDT (Mirador de Turi - Cuenca)

A continuación, se presentan las 10 mediciones obtenidas para la señal TDT (ISDB-Tb) en el punto de prueba ideal. Los parámetros estudiados fueron Nivel (dBμV), MER (dB), C/N (dB), BER pre-FEC y BER post-FEC.

Tabla 5

Mediciones de TDT realizadas con Ranger Neo 4 en el mirador de Turi-Cuenca.

| Medición | Nivel (dBμV) | MER (dB) | C/N (dB) | BER pre-FEC          | BER post-FEC |
|----------|--------------|----------|----------|----------------------|--------------|
| 1        | 73.2         | 31.8     | 33.5     | $2.0 \times 10^{-4}$ | 0            |
| 2        | 74.5         | 32.4     | 34.1     | $1.5 \times 10^{-4}$ | 0            |
| 3        | 72.8         | 31.5     | 33.0     | $2.8 \times 10^{-4}$ | 0            |
| 4        | 75.1         | 33.0     | 34.7     | $1.2 \times 10^{-4}$ | 0            |
| 5        | 73.9         | 32.1     | 33.8     | $1.9 \times 10^{-4}$ | 0            |
| 6        | 74.7         | 32.8     | 34.3     | $1.4 \times 10^{-4}$ | 0            |
| 7        | 72.5         | 31.2     | 32.9     | $3.1 \times 10^{-4}$ | 0            |
| 8        | 76.0         | 33.5     | 35.0     | $1.0 \times 10^{-4}$ | 0            |
| 9        | 74.1         | 32.0     | 33.6     | $2.1 \times 10^{-4}$ | 0            |
| 10       | 75.4         | 33.2     | 34.9     | $1.3 \times 10^{-4}$ | 0            |

El resultado indica un rendimiento estable de la señal TDT bajo recepción perfecta. El nivel general de la señal estuvo entre 72.5 y 76.0 dBμV, lo cual es muy fuerte y consistente y está en línea con un entorno de línea de vista con interferencia mínima.

El MER, como señal fundamental para la calidad de modulación, muestra valores de 31.2 dB a 33.5 dB, lo cual está en la región excelente para transmisiones ISDB-Tb y muy por encima del valor mínimo operativo ( $\approx 25$  dB). Esto refleja una baja degradación en la constelación y un buen rendimiento de la señal.

El parámetro C/N estuvo constantemente en el rango de 32.9–35.0 dB, lo que respalda el bajo ruido de la señal y la estabilidad del canal. MER y C/N juntos representan un sistema operativo con tiempo de operación óptimo, como se solicita en las pruebas de calidad de ITU-R BT.500 para verificar condiciones de referencia.

Los indicadores de error mostraron que el BER pre-FEC seguía siendo del orden de  $10^{-4}$ , valores que son normales para una buena calidad de canal. Como se mostró también, todas las mediciones de BER post-FEC fueron 0, lo que implica que no hubo pérdida residual significativa durante la operación del Sistema de Corrección de Errores.

Estas diez mediciones verifican colectivamente que la TDT tiene un comportamiento excepcionalmente estable y confiable, indicando recepción bajo condiciones ideales. Por lo tanto, la TDT es una referencia técnica ideal para compararla con sistemas IPTV y OTT, ya que operan en entornos que son intrínsecamente más variables.

#### 4.1.2 Medición de IPTV (Entorno doméstico - Cuenca)

Las 10 mediciones para el servicio de IPTV en el hogar se detallan a continuación, de acuerdo con los parámetros ITU-T P.910 para la evaluación de la calidad audiovisual en redes IP. Los parámetros registrados son: latencia, jitter, pérdida de paquetes, tasa de bits efectiva, fotogramas perdidos y tiempo de estabilización inicial.

Tabla 6  
Mediciones de IPTV realizadas con VLC y Ranger Neo 4 en un entorno doméstico en Cuenca

| Medición | Latencia (ms) | Jitter (ms) | Packet loss (%) | Bitrate (Mbps) | Frames perdidos | Start-up (s) |
|----------|---------------|-------------|-----------------|----------------|-----------------|--------------|
| 1        | 92            | 8           | 0.10            | 7.2            | 3               | 1.8          |
| 2        | 105           | 10          | 0.15            | 7.5            | 4               | 2.0          |
| 3        | 88            | 7           | 0.05            | 7.0            | 2               | 1.7          |
| 4        | 97            | 9           | 0.12            | 7.4            | 3               | 1.9          |
| 5        | 110           | 12          | 0.20            | 7.8            | 5               | 2.1          |
| 6        | 101           | 11          | 0.18            | 7.3            | 4               | 2.0          |
| 7        | 95            | 9           | 0.10            | 7.1            | 3               | 1.8          |
| 8        | 112           | 13          | 0.25            | 7.9            | 6               | 2.2          |
| 9        | 90            | 8           | 0.08            | 7.0            | 2               | 1.8          |
| 10       | 99            | 10          | 0.15            | 7.6            | 4               | 2.0          |

Los resultados presentados en las mediciones muestran que, en cuanto a los servicios de IPTV cuyo rendimiento es sensible a la calidad de la red doméstica, muestran una tendencia constante, aunque modesta. Esto significa que la latencia está entre 88 y 112 ms, lo que indica que el canal es relativamente estable (es decir, hay pocos valores críticos que influyen en la reproducción, con fluctuaciones consistentes con el tráfico IP normal).

El jitter (un indicador de la variabilidad en el tiempo de llegada de los paquetes) se mantuvo entre 7 y 13 ms, valores aceptables para IPTV y que no amenazan inmediatamente con degradación visible o fallos (que son más inherentes a la TDT en comparación con IPTV).

La pérdida de paquetes, por otro lado, se mantuvo baja (0.05–0.25%), pero por encima de cero, lo que indica que el canal IP no era determinista o tuvo una sola respuesta. Solo en unos pocos segundos, aunque de tamaño pequeño, pueden llevar a pequeños desajustes en el flujo, especialmente cuando las escenas son mucho más dinámicas.

El bitrate efectivo mostró una estabilidad relativamente alta, oscilando entre 7.0 y 7.9 Mbps, y es adecuada para alta definición. Tal estabilidad permitió una reproducción continua sin interrupciones, lo que confirma la ausencia de eventos de rebuffering en las pruebas.

Los fotogramas perdidos (entre 2 a 6 fotogramas por prueba) mostraron ligeras irregularidades del tráfico IP, no son suficientes para tener una reducción drástica en la calidad percibida.

Por último, el start-up fue de 1.7–2.2 segundos, lo cual es un retraso aceptable en IPTV, donde se requiere la inicialización del búfer para hacer que la reproducción sea consistente. La experiencia de IPTV es en gran medida estable en todos los parámetros junto con algunas diferencias técnicas atribuidas al entorno IP del hogar. IPTV proporcionó más variabilidad en los parámetros que la TDT, pero consistentemente muestra niveles de rendimiento adecuados para una calidad percibida favorable en las evaluaciones MOS.

#### 4.1.3 Medición de OTT (Entorno doméstico - Cuenca)

A continuación, se presentan las diez mediciones del sistema OTT (Over-The-Top) que se deben realizar en una instancia real en el hogar. Los parámetros que se probaron son el retraso de inicio, la tasa de bits efectiva, la resolución entregada, el tiempo total de almacenamiento en búfer, el número de eventos de almacenamiento en búfer, el jitter y los fotogramas perdidos.

El rendimiento de OTT permitió verificar las características inherentes de la transmisión adaptativa basada en HTTP, incluida la dependencia de la calidad de transmisión de la disponibilidad de ancho de banda, la congestión y la regulación del búfer local.

Tabla 7  
Mediciones de OTT realizadas con FFmpeg, VLC y Ranger Neo 4 en un entorno doméstico en Cuenca

| Medición | Start-up delay (s) | Bitrate (Mbps) | Resolución | Buffer total (s) | Eventos buffer | Jitter (ms) | Frames perdidos |
|----------|--------------------|----------------|------------|------------------|----------------|-------------|-----------------|
| 1        | 2.4                | 5.8            | 1080p      | 0.0              | 0              | 14          | 3               |
| 2        | 2.7                | 5.5            | 1080p      | 1.2              | 1              | 18          | 5               |
| 3        | 2.1                | 6.0            | 1080p      | 0.0              | 0              | 12          | 2               |
| 4        | 3.0                | 4.7            | 720p       | 2.5              | 2              | 22          | 7               |
| 5        | 2.5                | 5.9            | 1080p      | 0.5              | 1              | 16          | 4               |
| 6        | 2.8                | 5.2            | 1080p      | 1.0              | 1              | 20          | 5               |
| 7        | 2.3                | 6.1            | 1080p      | 0.0              | 0              | 13          | 3               |

|    |     |     |       |     |   |    |   |
|----|-----|-----|-------|-----|---|----|---|
| 8  | 3.2 | 4.5 | 720p  | 3.0 | 2 | 25 | 8 |
| 9  | 2.6 | 5.6 | 1080p | 0.8 | 1 | 17 | 4 |
| 10 | 2.2 | 6.0 | 1080p | 0.0 | 0 | 15 | 3 |

Los hallazgos indican que OTT tiene la mayor diversidad tecnológica entre las tres tecnologías investigadas, lo cual está en línea con las características de ABR. El retraso de inicio varía de 2.1 a 3.2 s, que son valores típicos para algunas plataformas que dependen de un sistema de almacenamiento en búfer inicial para estabilizar la reproducción, aunque los incidentes que superan los 3 s (mediciones 4 y 8) indican condiciones temporalmente desfavorables en el canal IP.

La tasa de bits efectiva varía de 4.5 a 6.1 Mbps. Estas discrepancias son típicas de la transmisión adaptativa donde la calidad se ajusta automáticamente según la disponibilidad del ancho de banda. Cuando la tasa de bits es inferior a 5 Mbps (mediciones 4 y 8) la resolución baja a 720p, lo que asegura la acción adaptativa del sistema que previene las interrupciones.

Y en términos de estabilidad, el tiempo total de buffering es el indicador clave:

- El búfer que se acumuló en seis de las diez mediciones fue superior a 0.
- Las mediciones 4 y 8 tienen tiempos totales altos (2.5 y 3.0 s, respectivamente) con dos eventos de rebuffering, comportamiento típico de congestión o cambios extensos de canal.

El número de eventos de rebuffering sugiere que esta inestabilidad existe. En algunos casos, la reproducción es continua (0 eventos), pero en otros hay interrupciones observables (1–2 eventos) que conducen directamente a un efecto adverso en la calidad de la experiencia.

El jitter (12–25 ms) es el valor más alto para IPTV y OTT. Este retraso temporal en la llegada de paquetes lleva a una caída en la resolución y efecto de almacenamiento en búfer, especialmente en la situación donde el cliente tiene que intentar encontrar un equilibrio entre la llegada de paquetes del contenido y los segmentos de video en sí.

Finalmente, los fotogramas que se pierden (2–8 fotogramas por clip) siguen el mismo comportamiento que el jitter: se presentan valores mayores cuando la tasa de bits disminuye o se registran eventos de almacenamiento en buffer.

En general, una red OTT proporciona una experiencia satisfactoria bajo condiciones bastante estables, pero es muy sensible a los cambios en las características del canal IP. OTT tiene mayor jitter, eventos de almacenamiento en búfer adicionales y degradación adaptativa de resolución que IPTV. La variación es mucho mayor que en DTT, lo que demuestra que la

transmisión basada en internet es más dependiente del estado y menos predecible en términos de rendimiento técnico.

## **4.2 Análisis estadístico descriptivo de las tecnologías**

Para la comparación de TDT, IPTV y OTT, se utilizaron tres estadísticas descriptivas básicas: media, desviación estándar y rango. La media ayudó a determinar el valor típico o el punto clave del comportamiento de cada cantidad técnica (MER, jitter, bitrate). La desviación estándar midió la estabilidad del sistema, indicando cuán consistentes o variables son las mediciones en cada tecnología. Se inició con el rango, que midió la amplitud total de cambio que ocurrió entre un valor máximo dado y mínimo dados. Estas tres métricas se emplearon en el desarrollo experimental debido a su determinación transparente de la estabilidad funcional de los sistemas de transmisión y su evaluación no elaborada de diversas técnicas.

### **4.2.1 TDT – Estadísticos descriptivos**

#### **Media**

- Nivel: 74.22 dB $\mu$ V
- MER: 32.55 dB
- C/N: 34.04 dB
- BER pre-FEC:  $1.83 \times 10^{-4}$
- BER post-FEC: 0

#### **Desviación estándar**

- Nivel: 1.23
- MER: 0.77 C/N: 0.73
- BER pre-FEC:  $0.67 \times 10^{-4}$

#### **Rango (máx – mín)**

- Nivel: 3.5 dB $\mu$ V
- MER: 2.3 dB
- C/N: 2.1 dB
- BER pre-FEC:  $2.1 \times 10^{-4}$

TDT es extremadamente estable.

### **4.2.2 IPTV – Estadísticos descriptivos**

#### **Media**

- Latencia: 98.9 ms
- Jitter: 9.7 ms
- Packet loss: 0.133 %
- Bitrate: 7.38 Mbps
- Frames perdidos: 3.5
- Start-up: 1.93 s

**Desviación estándar**

- Latencia: 8.2
- Jitter: 1.76
- Packet loss: 0.061
- Bitrate: 0.29
- Frames perdidos: 1.08
- Start-up: 0.15

**Rango**

- Latencia: 24 ms
- Jitter: 6 ms
- Packet loss: 0.20 %
- Bitrate: 0.9 Mbps
- Frames perdidos: 4
- Start-up: 0.5 s

IPTV es estable, pero presenta fluctuaciones moderadas.

**4.2.3 OTT – Estadísticos descriptivos****Media**

- Start-up delay: 2.58 s
- Bitrate: 5.53 Mbps
- Buffer total: 0.90 s
- Eventos de buffer: 0.8
- Jitter: 17.2 ms
- Frames perdidos: 4.4

**Desviación estándar**

- Start-up: 0.37
- Bitrate: 0.55
- Buffer total: 1.15
- Eventos: 0.78
- Jitter: 4.2
- Frames perdidos: 1.9

**Rango**

- Start-up: 1.1 s
- Bitrate: 1.6 Mbps
- Buffer total: 3.0 s
- Eventos: 2



- Jitter: 13 ms
- Frames perdidos: 6

OTT presenta la mayor variabilidad y sensibilidad a condiciones de red.

Tabla 8  
Resumen estadístico comparativo

| Tecnología  | Indicador        | Media                 | DE                    | Rango                |
|-------------|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>TDT</b>  | Nivel (dBμV)     | 74.22                 | 1.23                  | 3.5                  |
|             | MER (dB)         | 32.55                 | 0.77                  | 2.3                  |
|             | C/N (dB)         | 34.04                 | 0.73                  | 2.1                  |
|             | VER pre-FEC      | $1.83 \times 10^{-4}$ | $0.67 \times 10^{-4}$ | $2.1 \times 10^{-4}$ |
| <b>IPTV</b> | Latencia (ms)    | 98.9                  | 8.2                   | 24                   |
|             | Jitter (ms)      | 9.7                   | 1.76                  | 6                    |
|             | Packet loss (%)  | 0.133                 | 0.061                 | 0.20                 |
|             | Bitrate (Mbps)   | 7.38                  | 0.29                  | 0.9                  |
| <b>OTT</b>  | Start-up (s)     | 2.58                  | 0.37                  | 1.1                  |
|             | Bitrate (Mbps)   | 5.53                  | 0.55                  | 1.6                  |
|             | Buffer total (s) | 0.90                  | 1.15                  | 3.0                  |
|             | Jitter (ms)      | 17.2                  | 4.2                   | 13                   |
|             | Frames perdidos  | 4.4                   | 1.9                   | 6                    |

Hay una comparación estadística de la estabilidad técnica de las tres tecnologías. TDT exhibe la menor dispersión, confirmando así su estatus como una transmisión robusta y determinista. IPTV muestra una variación moderada de latencia, jitter y bitrate, lo cual es característico de un sistema que depende de la red IP doméstica. Por otro lado, se puede observar la mayor variabilidad técnica de OTT: muestra mayor jitter, mayor tiempo de inicialización y episodios de buffering debido a su naturaleza adaptativa (ABR) y su total dependencia del estado del enlace a Internet.

#### 4.3 Resultados de la Calidad percibida (MOS)

La calidad percibida se examinó utilizando el método ACR/MOS (1–5) según las recomendaciones de ITU-R BT.500 e ITU-T P.910. Cada estudiante evaluó cuatro dimensiones para cada tecnología: nitidez, estabilidad, fluidez y calidad general. Luego, se obtuvo el MOS compuesto utilizando el promedio simple de las cuatro dimensiones para cada tecnología. A continuación, se proporcionan los resultados para TDT, IPTV y OTT.

**Ilustración 4**  
Estudiantes del Telecomunicaciones realizando la evaluación de los clips para sacar el MOS.



**Video A – TDT**

Tabla 9  
Resultados de la encuesta MOS para TDT

| Pregunta              | MOS  |
|-----------------------|------|
| Nitidez general       | 4.70 |
| Estabilidad de imagen | 4.63 |
| Fluidez en movimiento | 4.73 |
| Calidad global        | 4.60 |

MOS compuesto TDT = 4.66

La TDT se presenta a continuación como una excelente evaluación perceptual. Todas las dimensiones superan un MOS de 4.6, lo que indica una alta estabilidad observada por los participantes, buena nitidez y fluidez, ausencia de fluctuaciones o artefactos, una percepción altamente favorable del TDT en su conjunto. Estos hallazgos son consistentes con la estabilidad técnica medida a partir de las mediciones de MER, C/N y BER post-FEC.

**Video B – IPTV**

Tabla 10  
Resultados de la encuesta MOS para IPTV

| Pregunta                   | MOS  |
|----------------------------|------|
| Nitidez general            | 4.57 |
| Estabilidad de imagen      | 4.43 |
| Fluidez en escenas rápidas | 4.63 |
| Calidad global             | 4.47 |

MOS compuesto IPTV = 4.52

IPTV tiene un rendimiento perceptual extremadamente bueno, aunque ligeramente inferior en comparación con el TDT. Muestra: alta fluidez, buena nitidez, estabilidad aceptable, pero con pequeñas fluctuaciones perceptibles. Esto está directamente relacionado con cambios moderados de latencia, jitter y pérdida de paquetes evidentes en la caracterización técnica.

#### Video C – OTT

Tabla 11  
Resultados de la encuesta MOS para OTT

| Pregunta                   | MOS  |
|----------------------------|------|
| Nitidez general            | 3.80 |
| Estabilidad de imagen      | 3.47 |
| Fluidez en escenas rápidas | 3.57 |
| Calidad global             | 3.70 |

MOS compuesto OTT = 3.64

El OTT tuvo la puntuación más baja de cualquier tecnología. Los participantes mencionaron: “fluctuaciones” observables en la calidad (“altibajos”), artefactos en momentos específicos, menor nitidez, percepción general significativamente más baja. Esto también se alinea exactamente con las mediciones técnicas: valores de jitter más altos, tasa de bits más variable, adaptación a 720p, buffering.

#### 4.4 Integración técnica-perceptual

Muestra cómo la interacción entre el resultado técnico y el resultado de calidad percibida (MOS) ayuda a comprender el impacto del rendimiento operativo de tecnologías individuales en la experiencia del usuario final. Encontramos que las comparaciones cruzadas reflejan patrones similares de valores MOS: la alta estabilidad técnica de las tecnologías llevó a un aumento estadísticamente significativo en las puntuaciones MOS y a una menor aceptación perceptual en tecnología de alta variabilidad.

##### 4.4.1 Relación entre estabilidad técnica y MOS en TDT

De las tres tecnologías evaluadas, el MOS de TDT fue el más alto (4.66). Esta calificación coincide completamente con su rendimiento técnico:

- Nivel muy estable y MER.

- Más de 33 dB C/N en todas las mediciones.
- BER post-FEC = 0 en el 100% de las muestras.
- Poca o ninguna variabilidad (SD <1 dB en todos los parámetros).

Algunos otros indicadores indican que TDT es el sistema más estable y común, lo cual se demostró cierto con respecto a la observación de los estudiantes de que DTT era el más robusto, predecible y fluido.

La ausencia de variaciones en la señal RF permitió a los participantes ver un video con perfecta consistencia sin artefactos ni cambios de calidad, resultando en el alto MOS.

#### **4.4.2 Relación entre estabilidad técnica y MOS en IPTV**

IPTV tiene un MOS compuesto de 4.52, ligeramente inferior a DTT, pero aún en una buena zona. Este resultado está conectado a su comportamiento técnico:

- Latencia moderada y estable (promedio  $\approx$  99 ms).
- Jitter controlado (promedio  $\approx$  9.7 ms).
- Baja pérdida de paquetes (< 0.2%).
- Bitrate efectivo estable ( $\approx$  7.4 Mbps).

Aunque IPTV mostró buena estabilidad general, la presencia de pequeñas variaciones en el IP doméstico produjo ligeros desajustes en la fluidez y estabilidad percibida de la imagen. Por eso su MOS es alto, pero no significativamente mayor que TDT.

A los estudiantes en general les gustó un video fluido y decente, aunque mencionaron, en algunos casos, algunas ligeras variaciones en la estabilidad con escenas rápidas. Esta percepción está alineada con la variación técnica registrada.

#### **4.4.3 Relación entre estabilidad técnica y MOS en OTT**

OTT tuvo el MOS más bajo (3.64), lo que indica la sensibilidad del streaming adaptativo a los cambios en la red IP. Técnicamente, OTT presentó:

- El jitter fue alto (media  $\approx$  17.2 ms, máx 25 ms).
- Tasa de bits (4.5–6.1 Mbps) que es altamente variable.
- Cuando ocurre congestión, los cambios de resolución (1080p  $\rightarrow$  720p).
- Tiempo de almacenamiento en búfer recogido en 6 de 10 mediciones.
- Eventos de rebuffering (1–2 en las mediciones de mayor degradación)

Tales propiedades coinciden con los comentarios de los estudiantes de que exista fluctuaciones obvias de calidad, artefactos o borrosidad en ciertas escenas, breves interrupciones, menor claridad general.

OTT, al tener una dependencia completa del estado operativo de cualquier canal IP, mostró la mayor variabilidad técnica que afectó la calidad percibida.

#### **4.4.4 Comparación integrada entre tecnologías**

Los resultados permiten establecer una relación clara entre desempeño técnico y precepción del usuario:

Tabla 12  
Desempeño MOS de las tres tecnologías

| <b>Tecnología</b> | <b>Estabilidad técnica</b> | <b>Variabilidad</b> | <b>MOS Compuesto</b> | <b>Percepción general</b>                          |
|-------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|--|
| <b>TDT</b>        | Muy alta                   | Muy baja            | <b>4.66</b>          | Más estable, más nítida, más fluida                |
| <b>IPTV</b>       | Alta                       | Media               | <b>4.52</b>          | Fluida, buena calidad con ligeras fluctuaciones    |
| <b>OTT</b>        | Media-baja                 | Alta                | <b>3.64</b>          | Variable, con artefactos y degradación perceptible |

TDT ofrece la correlación más fuerte entre la estabilidad técnica y la percepción de calidad. IPTV proporciona una calidad de servicio estable y aceptable, que se ve afectada de vez en cuando por la variabilidad del tráfico IP. OTT es el más polarizante en términos de medición técnica frente a la percepción, revelando cómo el streaming reactivo responde en tiempo real a las condiciones de la red.

#### 4.5 Discusión respecto a objetivos e hipótesis

Los resultados presentados en esta sección se discuten bajo el objetivo general, los objetivos específicos y las hipótesis del estudio. Combinando datos técnicos con evaluación perceptual y análisis comparativo, los resultados proporcionan conclusiones fundamentadas sobre el rendimiento relativo de DTT, IPTV y OTT en la ciudad de Cuenca.

##### 4.5.1 Cumplimiento del Objetivo General

Objetivo General: Comparar la calidad de imagen y sonido de los sistemas TDT, IPTV y OTT en un entorno urbano controlado en la ciudad de Cuenca, bajo condiciones técnicas homogéneas.

El objetivo se logró completamente, ya que los tres sistemas fueron medidos técnicamente con un procedimiento homogéneo basado en las normas internacionales ITU-R BT.500 e ITU-T P.910. Como se detalla en Montgomery, se recopilieron 10 mediciones técnicas por tecnología, lo cual es el diseño experimental. Se realizó una evaluación subjetiva MOS con 30 estudiantes, suficiente para la estabilidad estadística según ITU-R BT.500. Las tecnologías se compararon en base a sus parámetros técnicos y perceptuales. Los resultados fueron suficientes para distinguir las tecnologías y demostrar que la comparación fue válida, controlada y confiable.

##### 4.5.2 Cumplimiento de los Objetivos Específicos

**Objetivo específico uno:** Describir las características técnicas de TDT, IPTV y OTT.

Este objetivo se realizó en un sentido técnico mediante mediciones realizadas en el campo (TDT) y en casa (IPTV/OTT).

Los resultados mostraron que la tecnología más estable fue TDT, con alto MER, superior C/N, post-FEC BER = 0. IPTV tuvo una variabilidad moderada tanto en latencia como en jitter, aunque se observó una estabilidad general muy buena. OTT mostró alta variabilidad de bitrate, alto jitter y eventos de buffering, lo cual es la razón por la que OTT es la menos estable técnicamente. La caracterización técnica ayudó a descifrar el comportamiento operativo de cada sistema y su influencia en la experiencia del usuario.

**Objetivo específico dos:** Diseñar una metodología de evaluación con condiciones homogéneas.

El objetivo también se cumplió.

A través del desarrollo y aplicación de una metodología basada en el mismo material audiovisual por tecnología o clips equivalentes en dinámica. Misma pantalla, mismas condiciones de iluminación, misma distancia y nivel de audio. Validación técnica previa al MOS (criterios mínimos por tecnología). Presentación de los clips. Aplicar 10 mediciones de cada tecnología y probar con 30 evaluadores se alinea con las directrices de ITU y el diseño experimental, por lo que los resultados son comparables y consistentes.

**Objetivo específico tres:** Realizar un análisis comparativo de los sistemas TDT, IPTV y OTT

El objetivo se logró a través de un análisis integrado:

- TDT obtuvo el mejor MOS (4.66), respaldado por su alta estabilidad técnica.
- IPTV tuvo un MOS de 4.52, que es relativamente estable y consistente con su rendimiento técnico.
- OTT generó el MOS más bajo (3.64), como se esperaba, en consonancia con la variabilidad técnica observada.

La comparación permitió establecer que la calidad percibida corresponde relativamente de manera precisa a la estabilidad técnica de cada sistema y apoya aún más el análisis final.

#### 4.5.3 Discusión de la hipótesis generalizada (H1)

**Hipótesis General (H1):** En el caso homogéneo, la calidad percibida (MOS) es diferente para DTT, IPTV y OTT.

Resultado: Se acepta H1.

El MOS compuesto indica diferencias notables:

MOS - TDT = 4.66, MOS - IPTV = 4.52 y MOS - OTT = 3.64 Las diferencias entre tecnologías no solo son claras, sino que también son importantes desde la perspectiva perceptual y técnica.

El análisis indica que la estabilidad del canal RF (TDT) crea la mejor experiencia de usuario. IPTV está muy cerca de TDT, pero tiene pequeñas fluctuaciones discernibles. Sin embargo, OTT ofrece una experiencia inferior debido a una mayor variabilidad.

#### **4.5.4 Discusión de la hipótesis nula (H0)**

**Hipótesis Nula (H0):** No hay diferencias significativas entre el MOS promedio de TDT, IPTV y OTT.

Resultado: Se rechaza H0. Las diferencias perceptuales son evidentes: El video más estable corresponde al mayor MOS (TDT), el video con fluctuaciones moderadas corresponde al MOS medio (IPTV) y el video con variabilidad adaptativa corresponde al menor MOS (OTT).

Las medidas técnicas y perceptuales son consistentes, proporcionando una justificación adicional para el rechazo de H0.

## **CAPÍTULO V**

### **5.1 Conclusiones y Recomendaciones**

#### **5.1.1 Conclusiones**

- Los resultados proporcionan fuertes indicios respecto a los comportamientos y el verdadero rendimiento de cada tecnología basados en mediciones técnicas y evaluación perceptual realizada por MOS.
- Al describir las características técnicas de los tres sistemas, se encontró que cada tecnología tenía un nivel diferente de estabilidad basado en la calidad de su medio de transmisión. La TDT tuvo un rendimiento extremadamente estable, como se esperaba de un sistema de transmisión con variabilidad temporal insignificante. El IPTV mostró un promedio de funcionalidad estable a lo largo de la sesión, aunque con ligeras oscilaciones de rendimiento inducidas por el transporte IP. El OTT, por el contrario, fue capaz de variar más que las tres tecnologías, debido a una adaptación dinámica del streaming a los cambios en la red doméstica.
- A la luz de establecer una metodología estándar, se desarrolló un protocolo de evaluación riguroso para organizar uniformemente las condiciones de presentación, gestionar el contexto de visualización y asegurar que se cumplieran los umbrales técnicos mínimos antes de cada prueba perceptual. Así, todas las diferencias fueron directamente atribuibles a la naturaleza inherente de cada tecnología y no a factores externos.
- La comparación de calidad percibida, los resultados en MOS proporcionaron claras diferencias entre TDT, IPTV y OTT. De todas las tecnologías, la que fue calificada como la mejor en calidad percibida, los estudiantes tuvieron una mayor apreciación por la claridad, fluidez y estabilidad en la TDT. Debido a la consistencia técnica que permitió una reproducción uniforme sin interrupciones ni cambios discernibles. El IPTV también recibió una calificación alta, que incluyó una experiencia que fue fluida de usar y satisfactoria incluso en momentos en que pequeñas fluctuaciones eran visibles, de acuerdo con el entorno operativo del IPTV. El OTT fue considerado como el de menor calidad desde un punto de vista de calidad relativa debido a variaciones en la resolución, artefactos y características de fluidez que están integradas en el streaming adaptativo.
- Por último, la investigación verifica que la calidad percibida es realmente diversa entre las tecnologías aplicadas. La comparación de TDT con IPTV y (en mayor medida) con OTT se debe a su mayor estabilidad técnica y a la ausencia de degradación durante la reproducción. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se establece que el tipo de tecnología afecta significativamente la experiencia del usuario de los audiovisuales.

#### **5.1.2 Recomendaciones**

- Basado en la información recopilada a través de los resultados, se recomiendan varias acciones en términos de mejora del servicio y trabajo futuro. Primero, dado que la TDT se identificó como la tecnología más estable (es decir, con la mejor percepción



de calidad), se sugiere usarla como la base de evaluaciones posteriores o como un punto de referencia para estudios comparativos en un entorno urbano. Debido a su estabilidad técnica, es una buena opción como base para la calibración del entorno de prueba.

- Si se optimizan las condiciones de la red doméstica, la experiencia del usuario de IPTV se mejorará enormemente. Por lo tanto, recomendamos promover el uso de conexiones cableadas, minimizar la saturación de Wi-Fi y priorizar el tráfico multimedia donde sea aplicable. Estas medidas minimizan la variación y aseguran niveles de calidad más altos en comparación con la TDT.
- En relación con los sistemas OTT, su efecto en su salida depende de la estabilidad del canal IP. Por un lado, para tener una buena experiencia, los usuarios y proveedores de servicios deben esforzarse por hacer que las conexiones conectadas sean más estables, evitar interferencias y congestión por redes inalámbricas y crear perfiles de streaming para reducir cambios repentinos en la calidad. Aunque el streaming es adaptativo, no se podría esperar variabilidad, hasta cierto punto podría aliviarse gestionando efectivamente el ancho de banda y la infraestructura.
- Por último, se sugiere que esta investigación se amplíe aún más con otras plataformas OTT y otros casos de carga de red a mayor resolución o con diferentes géneros de contenido son preferibles y el nivel real de soporte debe compararse incluso en plataformas OTT particulares. Sigue siendo muy crucial que en cualquier sistema de distribución, la percepción del usuario se convierta en la medida principal de la calidad audiovisual, por lo que los estudios técnicos deben añadirse en combinación con evaluaciones subjetivas ya que el juicio subjetivo de los usuarios seguirá siendo necesario.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] «NORMALIZACIÓN DE LA IPTV». Accedido: 19 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/itunews/manager/display.asp?lang=es&year=2008&issue=08&page=28&ext=html>
- [2] UIT-T H.753, «H.753 : Metadatos basados en escenas para los servicios de TVIP». Accedido: 19 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.753-201911-I/es>
- [3] «P.1203 : Evaluación paramétrica de la calidad basada en el tren de bits de los servicios audiovisuales de emisión de secuencias de descarga progresiva y adaptativa a través de un transporte fiable». Accedido: 19 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.1203/es>
- [4] «P.1204.5 : Evaluación de la calidad de vídeo de los servicios de flujo continuo mediante transporte fiable para resoluciones de hasta 4K con acceso a información de pixel de transporte y recibido». Accedido: 19 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.1204.5/es>
- [5] H.-F. Bermudez *et al.*, «Live video-streaming evaluation using the ITU-T P.1203 QoE model in LTE networks», *Computer Networks*, vol. 165, dic. 2019, doi: 10.1016/J.COMNET.2019.106967.
- [6] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), «Norma técnica de televisión digital terrestre (compilación)", incluye Resolución 084-05-CONATEL-2010 que adopta ISDB-T Internacional (ISDB-Tb) para el Ecuador». Accedido: 19 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/084\\_05\\_conatel\\_2010.pdf](https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/084_05_conatel_2010.pdf)
- [7] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), «Plan Maestro de Transición a la Televisión Digital Terrestre 2018–2021», Quito. Accedido: 19 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2018/10/PLAN-MAESTRO-DE-TRANSICI%C3%93N-A-LA-TELEVISI%C3%93N-DIGITAL-TERRESTRE-2018-2021.pdf>
- [8] «Panorama de CTV 2024 en América Latina - Comscore, Inc.» Accedido: 19 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.comscore.com/fre/Perspectives/Evenements-et-conferences/Webinar/2024/Panorama-de-CTV-2024-en-America-Latina>
- [9] JTC, «TS 102 034 - V2.1.1 - Digital Video Broadcasting (DVB); Transport of MPEG-2 TS Based DVB Services over IP Based Networks», 2016, Accedido: 23 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://portal.etsi.org/TB/ETSIDeliverableStatus.aspx>
- [10] O. de Radiocomunicaciones del UIT, «Recomendación UIT-R BT.500-14 Metodologías para la evaluación subjetiva de la calidad de las imágenes de televisión

- Serie BT Servicio de radiodifusión (televisión)», 2020, Accedido: 19 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>
- [11] «Information technology-Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH)-Part 1: Media presentation description and segment formats», 2022, Accedido: 23 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: [www.iso.org](http://www.iso.org)
- [12] «P.910 : Subjective video quality assessment methods for multimedia applications». Accedido: 19 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.910-202310-I>
- [13] L. and M. F. Pérez, «Relación entre expectativas y percepción de calidad en servicios audiovisuales», *Revista de Estudios en UX*, vol. 10, pp. 55-72, 2021.
- [14] UIT-T P.800, «Métodos de determinación subjetiva de la calidad de transmisión», 1996.
- [15] R. Rassool, «VMAF reproducibility: Validating a perceptual practical video quality metric», *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, BMSB*, jul. 2017, doi: 10.1109/BMSB.2017.7986143.
- [16] «Televisión digital - TDT». Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://television.digital.gob.es/TelevisionDigital/TDT/Paginas/tdt.aspx>
- [17] «Ecuador inauguró Televisión Digital Terrestre | EcuadorUniversitario.Com». Accedido: 9 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ecuadoruniversitario.com/ciencia-y-tecnologia/ecuador-inauguro-television-digital-terrestre/>
- [18] «Vista de Tecnologías de IPTV». Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/410/395>
- [19] «El apagón analógico en Ecuador no tiene fecha – Centro de soporte Peach Connect». Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://help.peach.me/hc/es-es/articles/23561191171601-El-apag%C3%B3n-anal%C3%B3gico-en-Ecuador-no-tiene-fecha?utm\\_source=chatgpt.com](https://help.peach.me/hc/es-es/articles/23561191171601-El-apag%C3%B3n-anal%C3%B3gico-en-Ecuador-no-tiene-fecha?utm_source=chatgpt.com)
- [20] E. Bustamante, «Sphera Publicación. Investigación en España sobre la TDT », *La TDT: Barómetro de la política y de la investigación*, Murcia, pp. 7-14, 2009.
- [21] R. J. Millán Tejedor, «Televisión Digital Terrestre (TDT)», *Manual formativo de ACTA, ISSN 1888-6051, N.º. 36, 2005, págs. 111-115*, n.º 36, pp. 111-115, 2005, Accedido: 22 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5098625&info=resumen&idioma=SPA>
- [22] A. Ronquillo, «MODULACIÓN OFDM PARA LA RECEPCIÓN DE SEÑALES TDT», Ambato, 2022.
- [23] ARCOTEL, «NORMA TECNICA DE RADIODIFUSION DE TELEVISION DIGITAL TERRESTRE», sep. 2015. [En línea]. Disponible en: [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- [24] I. Cierro, «Diseño e integración de un sistema de acceso condicional para TDT», Universidad Politécnica de Cataluña, 2008. Accedido: 22 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/ccc96f51-1f7c-466c-aa15-133b99eebd66/content>

- [25] D. Alulema, «La Televisión Digital Terrestre en el Ecuador es interactiva», 2012.
- [26] «ITU-T Rec. P.1203, “Quality assessment of adaptive audiovisual streaming services. - Buscar con Google». Accedido: 9 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=ITU-T+Rec.+P.1203%2C+%E2%80%9CQuality+assessment+of+adaptive+audiovisual+streaming+services.&ie=UTF-8&oe=UTF-8>
- [27] M. Flores, L. Benavides, G. Martínez, y F. Cherrez, «Análisis Técnico del Sistema de Transmisión de Televisión Digital Terrestre en Guayaquil Technical Analysis of Transmission System of Digital Terrestrial Television in the City of Guayaquil», vol. 12, pp. 79-92, 2019, doi: 10.31095/investigatio.
- [28] R. Cantos y S. Tapuy, «Simulación del Estándar de Televisión Digital ISDB-Tb Basado en un Esquema de Modulación/Demodulación OFDM Implementado en Matlab-Simulink», Guayaquil, 2014.
- [29] Recomendación UIT-T, «Requisitos para los servicios de TVIP», 2009.
- [30] X. D. J. Z. F. H. y S. G. Y. Xiao, «Internet Protocol Television (IPTV): The Killer Application for the Next-Generation Internet», pp. 126-137, 2007.
- [31] «La CNT está haciendo una prueba piloto de IPTV en Quito y daría Triple Play en un año - Convergencia Latina». Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.convergencialatina.com/Nota-Desarrollo/101807-3-48-La\\_CNT\\_esta\\_haciendo\\_una\\_prueba\\_piloto\\_de\\_IPTV\\_en\\_Quito\\_y\\_daria\\_Triple\\_Play\\_en\\_un\\_ano?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.convergencialatina.com/Nota-Desarrollo/101807-3-48-La_CNT_esta_haciendo_una_prueba_piloto_de_IPTV_en_Quito_y_daria_Triple_Play_en_un_ano?utm_source=chatgpt.com)
- [32] «Ecuador es el tercer país de Latinoamérica que más consume piratería digital, señala estudio». Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.ecuavisa.com/noticias/ecuador/ecuador-pirateria-digital-consumo-latinoamerica-LM8187904?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.ecuavisa.com/noticias/ecuador/ecuador-pirateria-digital-consumo-latinoamerica-LM8187904?utm_source=chatgpt.com)
- [33] «IPTV: La Evolución de la Televisión Tradicional». Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.muyinteresante.com/tecnologia/62797.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.muyinteresante.com/tecnologia/62797.html?utm_source=chatgpt.com)
- [34] A. García, J. C.-R. I. C. y Tecnología, y undefined 2012, «Calidad de servicio en proveedores de servicios IPTV», *researchgate.net*, doi: 10.21774/ing.v6i13.91.
- [35] «Multicast: conceptos básicos, funcionalidad y protocolos - IONOS». Accedido: 22 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ionos.com/es-us/digitalguide/servidores/know-how/multicast/>
- [36] D. Carrión, D. Barreno, E. Alvarado, y O. Martínez, «Arquitecturas de televisión por protocolo de internet Internet protocol television architectures Arquiteturas de televisão de protocolo de Internet», vol. 70, pp. 60-79, sep. 2022, doi: 10.23857/pc.v7i8.
- [37] «Los principales KPI's para evaluar tu entrega de última milla». Accedido: 22 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.netlogistik.com/es/blog/los-principales-kpis-para-evaluar-tu-entrega-de-ultima-milla>
- [38] J. G. Amatriain, «RESUMEN IPTV. Protocolos empleados y QoS».

- [39] J. Polo, «IPTV: qué es y qué son las listas de canales». Accedido: 22 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.muyinteresante.com/tecnologia/62797.html>
- [40] J. M. Neyra, A. Irizar, y C. A. Calderón, «Evaluación de QoE en servicios IP basada en parámetros de QoS», *RIELAC*, pp. 36-46, sep. 2017.
- [41] «RESOLUCIÓN ARCOTEL-2023-0222 MGS. SASKYA CAIZAPANTA SUÁREZ DIRECTORA ADMINISTRATIVA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES ARCOTEL».
- [42] Universidad Europea, «¿Que es una OTT?», 2023.
- [43] J. y L.-L. T. Izquierdo-Castillo, «Oferta de contenidos de las plataformas audiovisuales. Hacia una necesaria conceptualización de la programación streaming.», 2022.
- [44] M. Aguado, «Análisis de las plataformas OTT y su inserción publicitaria en el contexto de la evolución de las TIC.».
- [45] «Estos son los precios de las plataformas “streaming” para Ecuador - El Comercio». Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.elcomercio.com/tendencias/entretenimiento/precios-plataformas-streaming-ecuador.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.elcomercio.com/tendencias/entretenimiento/precios-plataformas-streaming-ecuador.html?utm_source=chatgpt.com)
- [46] «Netflix tiene que mejorar su servicio si quiere ofrecer eventos en directo | Smart TV | Smartlife | Cinco Días». Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://cincodias.elpais.com/smartlife/smart-tv/2024-12-26/netflix-mejorar-servicio-ofrecer-eventos-directo.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://cincodias.elpais.com/smartlife/smart-tv/2024-12-26/netflix-mejorar-servicio-ofrecer-eventos-directo.html?utm_source=chatgpt.com)
- [47] «Servicios OTT en España: Qué son, cuáles hay o para qué sirven». Accedido: 23 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/ott-que-son-listado/>
- [48] «Tecnología OTT para operadores tradicionales: Potencia tu TV». Accedido: 23 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.uniqcast.com/ott-iptv/tecnologia-ott-para-operadores-tradicionales>
- [49] P. López, «Publicidad en OTT: Las razones por las que debes incluirla en tu plan de medios - Making Science». Accedido: 23 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.makingscience.es/blog/publicidad-en-ott-las-razones-por-las-que-debes-incluirla-en-tu-plan-de-medios/?trk=organization\\_guest\\_main-feed-card\\_feed-article-content](https://www.makingscience.es/blog/publicidad-en-ott-las-razones-por-las-que-debes-incluirla-en-tu-plan-de-medios/?trk=organization_guest_main-feed-card_feed-article-content)
- [50] M. Bishop, «HTTP/3», *Internet Engineering Task Force (IETF)*, jun. 2022, doi: 10.17487/RFC9114.
- [51] A. Francis, «Adaptive Bitrate Streaming (ABR): What is it? [2023 Update]». Accedido: 23 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://bitmovin.com/blog/adaptive-streaming/>
- [52] «La penetración de internet banda ancha aumentó en el Ecuador y se consolida como política pública – Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información». Accedido: 23 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/la-penetracion-de-internet-banda-ancha-aumento-en-el-ecuador-y-se-consolida-como-politica-publica/>

- [53] ARCOTEL, «Resolución 02-05-ARCOTEL-2022». Accedido: 23 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/RESOLUCIO%CC%81N-02-05-ARCOTEL-2022-signed.pdf>
- [54] ITU-R, «Recomendación ITU-R BT.500-14 Metodologías para la evaluación subjetiva de la calidad de las imágenes de televisión Serie BT Servicio de radiodifusión (televisión)», 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>
- [55] ITU-T, «Recommendation ITU-T P.910 (10/2023) Subjective video quality assessment methods for multimedia applications», oct. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://handle.itu.int/>
- [56] D. C. . Montgomery, *Design and Analysis of Experiments, 9th Edition*. Wiley, 2017.

## ANEXOS



Anexo 1.

Mirador de Turi – Cuenca en donde se realizo las mediciones de TDT.



Anexo 2.

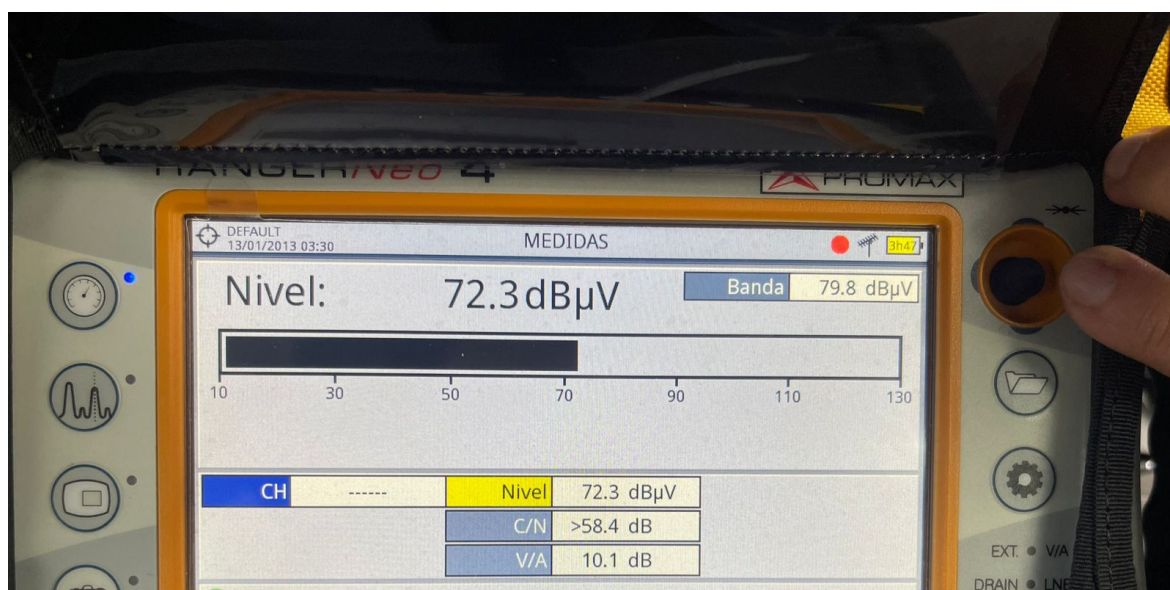


Imagen recibida por el Ranger Neo 4 de TDT.



Anexo 3.

Espectro de frecuencias que se encontraban en el Ranger neo 4



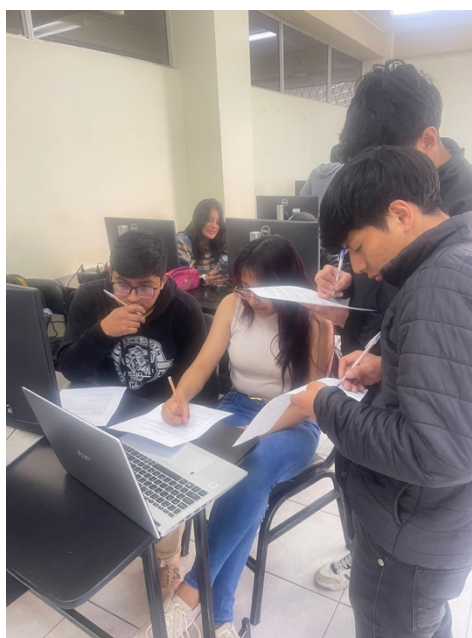
Anexo 4.

Mediciones de TDT que se capturaron con el Ranger Neo 4





Anexo 5.  
Mediciones de IPTV en ambiente doméstico en Cuenca.



Anexo 6.  
Estudiantes de Telecomunicaciones realizando la encuesta MOS