

**Evaluación técnica de la recepción de la Televisión Digital Terrestre (TDT) en la
localidad de Usme, Bogotá: incidencia del cableado coaxial y la infraestructura domiciliaria
en la calidad de señal**

Karen Yulieth Paez Garcia

Asesor

Estefany Maria Lancheros Sepulveda

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Programa

2026

Resumen

La presente monografía estudia la recepción de la Televisión Digital Terrestre (TDT) en la localidad de Usme, Bogotá, desde un enfoque documental y técnico, con énfasis en la incidencia del tipo de cable coaxial y la distribución de la infraestructura domiciliaria en la calidad de la señal recibida. El trabajo se fundamenta en la revisión de literatura especializada, lineamientos normativos y principios de propagación electromagnética en la banda UHF (470–698 MHz), así como en la descripción de los parámetros de calidad de señal empleados en sistemas de radiodifusión digital, específicamente la relación de error de modulación (MER), la tasa de error de bit (BER) y la relación señal-ruido (SNR).

Asimismo, se presenta una comparación técnica documental de los cables coaxiales RG-59, RG-6 y RG-11, considerando sus niveles de atenuación y su posible impacto en el desempeño del sistema de recepción, y se abordan de manera complementaria las características generales de las antenas externas utilizadas en la TDT como parte de la infraestructura de recepción. A partir de la síntesis de los fundamentos teóricos y normativos revisados, se formulan recomendaciones técnicas orientadas a optimizar la infraestructura domiciliaria de recepción de TDT, con el propósito de mejorar la calidad del servicio y contribuir a la reducción de la brecha digital en viviendas y apartamentos ubicados en zonas urbanas y montañosas de la localidad de Usme.

Palabras clave: Televisión Digital Terrestre (TDT); cable coaxial; infraestructura domiciliaria; calidad de señal; MER; BER; SNR; banda UHF.

Abstract

This monograph studies the reception of Digital Terrestrial Television (DTT) in the Usme district of Bogotá, from a documentary and technical perspective, with an emphasis on the impact of coaxial cable type and the distribution of residential infrastructure on the quality of the received signal. The work is based on a review of specialized literature, regulatory guidelines, and principles of electromagnetic propagation in the UHF band (470–698 MHz), as well as a description of the signal quality parameters used in digital broadcasting systems, specifically the modulation error ratio (MER), bit error rate (BER), and signal-to-noise ratio (SNR).

Furthermore, a documentary technical comparison of RG-59, RG-6, and RG-11 coaxial cables is presented, considering their attenuation levels and their potential impact on the performance of the reception system. The general characteristics of external antennas used in DTT as part of the reception infrastructure are also addressed. Based on the synthesis of the reviewed theoretical and regulatory foundations, technical recommendations are formulated aimed at optimizing the home infrastructure for receiving DTT, with the purpose of improving the quality of service and contributing to the reduction of the digital divide in homes and apartments located in urban and mountainous areas of the town of Usme.

Keywords: Digital Terrestrial Television (DTT); coaxial cable; home infrastructure; signal quality; MER; BER; SNR; UHF band.

Tabla de contenido

Resumen.....	2
Introducción	10
Líneas y grupos de interés investigativo.....	11
Planteamiento del problema.....	12
Justificación	14
Objetivos.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos	15
Marco Teórico.....	17
Propagación electromagnética en la banda UHF.....	17
Modelos teóricos de atenuación y propagación.....	17
Comparación explícita Okumura-Hata vs ITU-R P.1546	18
Antenas externas para recepción de TDT	19
Medios de transmisión y pérdidas en cable coaxial	20
Parámetros de calidad de señal y normativa aplicable	20
Indicadores técnicos de calidad de señal	20
Marco normativo colombiano para la TDT	21
Metodología	22
Tipo y diseño de la investigación	22
Fuentes de información	22
Procedimiento metodológico.....	23
Alcance y limitaciones del estudio	25

Contexto geográfico y análisis de parámetros de calidad en la recepción de TDT en Usme	26
Evaluación preliminar del entorno de telecomunicaciones en Usme	26
Demarcaciones geográficas	27
Simulación teórica de cobertura radioeléctrica de la señal TDT en la localidad de Usme (Xirio)28	
Configuración del sistema de transmisión.....	28
Modelo de propagación empleado.....	29
Consideraciones topográficas	30
Parámetros evaluados	30
Resultados de la simulación de cobertura radioeléctrica.....	31
Mapa de nivel de señal en el área de estudio.....	31
Análisis puntual de cobertura en un entorno de lluvia.....	32
Análisis técnico de impacto en parámetros MER, BER y SNR	34
Evaluación de los parámetros de calidad de señal en el entorno de estudio.....	36
Sistema de cableado en la recepción de TDT	37
Características técnicas de cables coaxiales tipo RG	37
Las fichas técnicas comerciales muestran que:	38
Atenuación en banda UHF (470–608 MHz).....	38
Simulación complementaria de atenuación	39
Análisis del sistema de cableado en vivienda de dos pisos	40
Comparación técnica de antenas externas para recepción de TDT.....	42
Estimación referencial de recursos para una instalación domiciliaria.....	43
Propuesta teórica de optimización de la infraestructura domiciliaria	45
Planos.....	46

Diagrama De Bloques.....	47
Ejemplo de cálculo	49
Explicación y ejemplo de cálculo de la simulación teórica en Matlab.....	50
Síntesis de resultados y validación técnica de la propuesta.....	51
Estado inicial del sistema	51
Estado posterior a la optimización técnica	52
Análisis comparativo	53
Conclusiones.....	54
Recomendaciones	56
Referencias.....	58
Apéndices.....	65

Lista de Figuras

Figura 1 Punto de referencia (torre/transmisor) Santa Librada	27
Figura 2 Parámetros de la antena transmisora de TDT Santa Librada (ANE).....	29
Figura 3 Mapa de predicción del nivel de campo eléctrico para la señal de Televisión Digital Terrestre (TDT) en la localidad de Usme	32
Figura 4 Estimación puntual del nivel de campo eléctrico punto crítico en entornos de lluvia. ..	33
Figura 5 Antenas y parámetros que se evalúan en telecomunicaciones para TDT en banda UHF	43
Figura 6 Plano de distribución	47
Figura 7 Diagrama de bloques, distribución de la implementación.....	48
Figura 8 Estado inicial del sistema con falla de recepción.	52
Figura 9 Estado del sistema posterior a la mejora implementada.....	53

Lista de Tablas

Tabla 1 Relación de intereses investigativos, líneas y grupos de investigación.....	11
Tabla 2 Comparación explícita Okumura-Hata vs ITU-R P.1546.....	19
Tabla 3 Tabla comparativa cables coaxiales.....	38
Tabla 4 Atenuación típica de cables coaxiales a 600 MHz (banda UHF)	39
Tabla 5 Atenuación aproximada a 470 MHz	39
Tabla 6 Recursos necesarios	44
Tabla 7 Caracterización técnica, infraestructura y marco normativo de la solución propuesta para optimización de recepción TDT en entorno residencial.	45

Lista de Apéndices

Apéndice A Algoritmos	65
-----------------------------	----

Introducción

La Televisión Digital Terrestre (TDT) constituye un servicio público fundamental para el acceso gratuito a contenidos informativos, educativos y culturales en Colombia; sin embargo, en sectores urbanos con condiciones geográficas complejas y alta vulnerabilidad socioeconómica, como la localidad de Usme en Bogotá, persisten dificultades en la recepción del servicio que afectan la calidad en los hogares. Estas problemáticas están asociadas a las características del entorno físico y a los fenómenos de propagación electromagnética en la banda UHF (470–698 MHz), en la cual se presentan efectos como la difracción y el multitrayecto que degradan la estabilidad de la señal, especialmente en zonas montañosas y con urbanización irregular (MinTIC, 2021; Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019)

En este contexto, la presente monografía tiene como propósito analizar, desde un enfoque documental y técnico, los factores que inciden en la recepción de la señal de TDT en la localidad de Usme, con énfasis en la influencia del tipo de cable coaxial y la distribución de la infraestructura domiciliaria sobre los parámetros de calidad de señal establecidos por la normativa colombiana, específicamente la relación de error de modulación (MER), la tasa de error de bit (BER) y la relación señal-ruido (SNR). Para ello, se revisan fundamentos teóricos de propagación electromagnética y modelos de atenuación aplicables a entornos urbanos y montañosos, así como las características generales de los medios de transmisión y antenas externas empleados en sistemas de recepción TDT, con el fin de formular recomendaciones técnicas orientadas a optimizar la infraestructura domiciliaria y contribuir a la mejora del servicio y a la reducción de la brecha digital en zonas con dificultades de acceso a la TDT (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019).

Líneas y grupos de interés investigativo

Tabla 1 Relación de intereses investigativos, líneas y grupos de investigación.

Intereses en ingeniería e investigación	Línea de investigación y áreas temáticas	Grupo de investigación	Semillero de investigación
Educación de calidad (ODS 4), industria, innovación e infraestructura (ODS 9), y alianzas para lograr los objetivos (ODS 17).	Ingeniería de software Gestión de sistemas. OIR educación: educación tecnológica La inteligencia artificial en las comunidades para lograr la sostenibilidad.	DAVINCI	Semillero Creando Soluciones Inteligentes en Electrónica y Telecomunicaciones.
Sector de las telecomunicaciones, redes y/o electrónica	Infraestructura tecnológica y seguridad de redes Automatización y herramientas lógicas	Grupo de Investigación en Desarrollo Tecnológico	Semillero de Investigaciones Aplicado a Telecomunicaciones y Electrónica - SIATEC

Planteamiento del problema

En la localidad de Usme, al sur de Bogotá, se presentan dificultades significativas en la recepción de la señal de Televisión Digital Terrestre (TDT), las cuales se manifiestan en deficiencias de imagen y sonido, interrupciones del servicio y pérdida total de la señal en algunos sectores. Estas problemáticas están asociadas, en parte, a las características geográficas del territorio, tales como pendientes pronunciadas, barreras naturales y una urbanización irregular, condiciones que intensifican fenómenos de propagación adversos en la banda UHF (Ultra Alta Frecuencia), como la difracción y el multitrayecto, afectando la estabilidad de la señal recibida, tal como lo establece la Comisión de Regulación de Comunicaciones (MinTIC, 2021). La situación resulta especialmente crítica para los hogares de bajos recursos que dependen exclusivamente de la TDT como servicio público gratuito para acceder a contenidos informativos, educativos y culturales.

De acuerdo con el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, más de cuatro millones de colombianos utilizan la TDT como su principal medio de acceso a la televisión abierta, siendo las zonas periféricas de Bogotá, como Usme, las más afectadas por deficiencias en la infraestructura de recepción (MinTIC, 2023). A estas condiciones se suman problemáticas propias de las instalaciones domiciliarias, entre las que se destacan el uso de cable coaxial inadecuado, particularmente RG-59, la distribución deficiente del cableado interno, la instalación incorrecta de antenas externas y la ausencia de criterios técnicos para el refuerzo de la señal, factores que incrementan las pérdidas de potencia y deterioran los parámetros de calidad de señal (IBK Cables y Sistemas, 2021). La Agencia Nacional del Espectro ha señalado que estas deficiencias limitan el acceso equitativo a los servicios de comunicación en sectores

vulnerables, contribuyendo a la ampliación de la brecha digital (Agencia Nacional del Espectro, 2025).

En este contexto, se hace necesario desarrollar un estudio de carácter monográfico y documental que permita analizar de manera integral los factores técnicos que deterioran la recepción de la señal de TDT en la localidad de Usme, con énfasis en el tipo de cable coaxial y la distribución de la infraestructura domiciliaria, así como su incidencia en los parámetros de calidad de señal establecidos por la normativa vigente. En consecuencia, la presente investigación se orienta a responder la siguiente pregunta: ¿cómo inciden el tipo de cable coaxial y la distribución de la infraestructura domiciliaria en los parámetros de calidad de señal (MER, BER y SNR) de la recepción de la Televisión Digital Terrestre (TDT) en viviendas y apartamentos de la localidad de Usme, Bogotá?

Justificación

La Televisión Digital Terrestre (TDT) constituye un servicio público esencial que garantiza el acceso universal a contenidos educativos, culturales y de información, especialmente en contextos socioeconómicos vulnerables. En el marco de la transición digital que adelanta el país (MinTIC, 2024), es necesario comprender las causas que afectan la calidad de la recepción en zonas como Usme para orientar futuras acciones de mejoramiento.

Las deficiencias en la recepción de TDT en terrenos montañosos se asocian con atenuación por obstáculos, pérdidas en cableado inadecuado y uso incorrecto de antenas. Estudios técnicos demuestran que el cable RG-59 presenta pérdidas superiores al RG-11 en distancias medias y largas, lo cual afecta parámetros fundamentales como MER, BER y SNR (TVC en Línea, 2020). Asimismo, la CRC establece niveles mínimos de potencia entre 45 y 70 dB μ V para garantizar una recepción adecuada.

Esta monografía se justifica porque recopila, analiza y sistematiza información técnica, normativa y científica para explicar, con fundamento riguroso, los factores que influyen en la recepción de TDT. El estudio no solo aporta claridad al fenómeno desde la ingeniería, sino que también contribuye a la comprensión de las barreras que enfrentan los sectores vulnerables en el acceso a tecnologías de comunicación, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con educación (ODS 4) e infraestructura tecnológica (ODS 9).

Objetivos

Objetivo General

Analizar los factores técnicos, físicos y normativos que inciden en la recepción de la señal de Televisión Digital Terrestre (TDT) en la localidad de Usme, Bogotá, a partir del estudio de los estándares de disponibilidad técnica establecidos en la Resolución CRC 5050 de 2016, con el fin de formular recomendaciones técnicas fundamentadas orientadas a la mejora de la infraestructura domiciliaria de recepción y a la reducción de la brecha digital en sectores vulnerables.

Objetivos Específicos

Caracterizar los fenómenos de propagación electromagnética y las condiciones orográficas que influyen en la recepción de la señal UHF (Ultra Alta Frecuencia) en la localidad de Usme, mediante el análisis de modelos de atenuación teóricos y la revisión documental de perfiles generales de elevación del terreno, con el fin de identificar las causas técnicas de la degradación de la señal y la presencia de zonas de sombra en la recepción de TDT.

Evaluar la incidencia del medio de transmisión y de los parámetros de calidad de señal en la estabilidad del servicio de TDT, mediante el análisis comparativo de la atenuación en cables coaxiales RG-59, RG-6 y RG-11, y el estudio de los umbrales normativos de intensidad de campo, relación de error de modulación (MER), tasa de error de bit (BER) y relación señal-ruido (SNR) establecidos en la Resolución CRC 5050 de 2016, con el fin de determinar los criterios técnicos mínimos que garanticen una recepción adecuada del servicio.

Analizar, desde un enfoque documental, el desempeño técnico de modelos representativos de antenas comerciales externas empleadas en la recepción de TDT, tales como antenas Yagi-Uda, log-periódicas y de panel, mediante la revisión de sus diagramas de radiación,

niveles de ganancia y polarización, con el propósito de identificar configuraciones que favorezcan la estabilidad de la señal en entornos con alta densidad de obstáculos y topografía accidentada.

Formular una guía de recomendaciones técnicas para la instalación domiciliaria de sistemas de recepción de TDT y una propuesta de presupuesto estimado, a partir de la síntesis de los hallazgos relacionados con propagación, cableado y selección de componentes de baja pérdida, orientada a mitigar las fallas de cobertura y mejorar la calidad del servicio en viviendas de la localidad de Usme con mayores dificultades de recepción.

Marco Teórico

Propagación electromagnética en la banda UHF

La Televisión Digital Terrestre (TDT) opera en la banda UHF (Ultra Alta Frecuencia), comprendida entre 470 y 698 MHz, rango de frecuencias cuyo comportamiento de propagación es altamente sensible a las condiciones del entorno físico. En este espectro se presentan fenómenos como difracción, reflexión, dispersión y multitrayecto, los cuales afectan la potencia recibida y la estabilidad de la señal, especialmente en entornos urbanos y montañosos. La difracción permite que la señal rodee obstáculos naturales o artificiales, mientras que el multitrayecto se produce cuando múltiples copias de la señal alcanzan el receptor con distintos retardos, generando interferencias que degradan la recepción digital (MinTIC, 2021).

En zonas con topografía accidentada y urbanización irregular, como la localidad de Usme en Bogotá, estos fenómenos se intensifican, provocando variaciones abruptas del nivel de señal y la aparición de zonas de sombra. La Agencia Nacional del Espectro ha señalado que las condiciones orográficas influyen directamente en la cobertura efectiva de los servicios de radiodifusión en banda UHF, afectando principalmente a los sectores periféricos de las grandes ciudades y limitando la calidad de la recepción en entornos urbanos complejos (Agencia Nacional del Espectro, 2025).

Modelos teóricos de atenuación y propagación

Para estimar las pérdidas de propagación de la señal en escenarios reales, se emplean modelos empíricos que relacionan variables como la frecuencia de operación, la distancia entre transmisor y receptor, la altura de las antenas y las características del entorno. Entre los modelos más utilizados en sistemas de radiodifusión se encuentra el modelo Okumura-Hata, desarrollado a partir de mediciones experimentales en entornos urbanos y suburbanos, el cual permite calcular

la pérdida media de trayectoria en función de parámetros físicos del sistema y del entorno (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019)

De manera complementaria, la Recomendación UIT-R P.1546-5 proporciona un método de predicción de propagación radioeléctrica punto a zona para servicios terrestres en el rango de frecuencias entre 30 MHz y 3 000 MHz, incorporando variables como el perfil del terreno, la altura efectiva de las antenas y la distancia de transmisión. Este modelo resulta especialmente útil para el análisis de cobertura de la TDT en entornos urbanos y suburbanos con topografía irregular (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2013). Estudios aplicados al contexto de la televisión digital terrestre han demostrado que el modelo ITU-R P.1546 ofrece resultados consistentes en escenarios con alta densidad de obstáculos, siendo una herramienta adecuada para el análisis teórico de la recepción de (Gómez Barquero, López Sánchez, Cardona Marcet, & Gutiérrez M, 2014)

Aunque estos modelos no sustituyen las mediciones en campo, su análisis documental permite explicar de manera teórica las deficiencias de cobertura observadas en zonas periféricas y montañosas como Usme, y sustentar la evaluación de los factores técnicos que inciden en la calidad de la señal recibida.

Comparación explícita Okumura-Hata vs ITU-R P.1546

En el contexto de la localidad de Usme, caracterizada por una topografía montañosa y presencia de obstáculos naturales y urbanos, la recomendación ITU-R P.1546 resulta más adecuada para el análisis teórico de la cobertura de la Televisión Digital Terrestre, dado que incorpora explícitamente el perfil del terreno y la altura efectiva de las antenas. Si bien el modelo Okumura-Hata permite una estimación general de la pérdida de propagación en entornos urbanos, su nivel de aproximación es inferior en escenarios con alta variabilidad orográfica, por

lo que su uso se considera complementario dentro del análisis documental desarrollado en esta monografía.

Tabla 2 Comparación explícita Okumura-Hata vs ITU-R P.1546

Característica	Okumura-Hata	ITU-R P.1546
Tipo de modelo	Empírico	Semi-empírico / normativo
Rango de frecuencia	150 – 1500 MHz	30 – 3000 MHz
Entorno de aplicación	Urbano, suburbano y rural	Urbano, suburbano y rural con perfil de terreno
Variables principales	Frecuencia, distancia, altura de antenas	Frecuencia, distancia, altura efectiva, perfil del terreno
Consideración del relieve	Implícita	Explícita (altimetría y obstáculos)
Uso típico	Planificación celular y radiodifusión básica	Predicción de cobertura TDT
Precisión en zonas montañosas	Media	Alta
Aplicabilidad en Usme	Limitada	Alta

Antenas externas para recepción de TDT

Las antenas externas constituyen un elemento fundamental en la recepción eficiente de la señal de TDT, ya que determinan el nivel de señal captado antes de su distribución interna. Entre los tipos más utilizados se encuentran las antenas Yagi-Uda, log-periódicas y de panel, las cuales presentan diferencias en ganancia, directividad, ancho de banda y polarización. Las antenas Yagi-Uda se caracterizan por su alta directividad y ganancia, lo que las hace adecuadas para entornos donde la señal llega debilitada, mientras que las antenas log-periódicas ofrecen un comportamiento más estable frente a variaciones de frecuencia (PROMAX, 2019)

La literatura técnica señala que la correcta selección del tipo de antena, junto con su adecuada orientación, altura y ubicación, influye directamente en la capacidad del sistema para mitigar los efectos del multitrayecto y mejorar los parámetros de calidad de señal. Una

instalación inadecuada puede introducir pérdidas adicionales que comprometen la estabilidad del servicio, aun cuando la señal radiada cumpla con los niveles normativos establecidos para la TDT (Kalley, 2020; PROMAX, 2019).

Medios de transmisión y pérdidas en cable coaxial

El cable coaxial es un componente crítico en las instalaciones domiciliarias de recepción de TDT, ya que introduce pérdidas adicionales que afectan la potencia de la señal entregada al receptor. Estas pérdidas dependen del tipo de cable, la frecuencia de operación, la longitud instalada y la calidad del blindaje. En el ámbito residencial, los cables más utilizados son RG-59, RG-6 y RG-11, siendo el RG-59 el que presenta mayores niveles de atenuación en la banda UHF (TVC en Línea, 2020)

Estudios técnicos y fichas de fabricantes indican que el cable RG-11 ofrece menores pérdidas y mejor desempeño eléctrico en distancias medias y largas, lo que lo convierte en una opción más adecuada para zonas donde la señal llega con niveles reducidos debido a condiciones geográficas adversas (IBK Cables y Sistemas, 2021). La selección inadecuada del cable coaxial y una distribución interna deficiente pueden degradar significativamente parámetros como la relación señal-ruido y la estabilidad del servicio de TDT en viviendas y apartamentos.

Parámetros de calidad de señal y normativa aplicable

Indicadores técnicos de calidad de señal

La evaluación de la calidad de la señal en los sistemas de Televisión Digital Terrestre (TDT) se fundamenta en el análisis de parámetros técnicos que permiten cuantificar el desempeño del enlace de recepción. Entre los indicadores más relevantes se encuentran la relación de error de modulación (MER), la tasa de error de bit (BER) y la relación señal-ruido (SNR). El MER expresa la calidad de la constelación digital y mide la distancia promedio entre

los símbolos recibidos y los valores ideales, constituyéndose en un parámetro crítico para la estabilidad de la modulación digital. Por su parte, el BER representa la proporción de bits erróneos respecto al total de bits transmitidos, mientras que la SNR describe la relación entre la potencia de la señal útil y el nivel de ruido presente en el sistema, siendo determinante para la correcta decodificación del contenido digital (Comisión de Regulación de Comunicaciones, 2016; Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019).

Marco normativo colombiano para la TDT

En el contexto colombiano, la Resolución CRC 5050 de 2016 establece los criterios de disponibilidad técnica del servicio de TDT, definiendo umbrales mínimos de intensidad de campo eléctrico y condiciones asociadas a los parámetros MER, BER y SNR que deben cumplirse para garantizar una recepción adecuada del servicio en los hogares. Esta normativa busca asegurar niveles aceptables de calidad de imagen y sonido, incluso en condiciones adversas de propagación, y sirve como marco de referencia para la evaluación del desempeño de las instalaciones domiciliarias (Comisión de Regulación de Comunicaciones, 2016).

El análisis de estos parámetros resulta fundamental para explicar las fallas recurrentes de recepción asociadas a pérdidas por cableado inadecuado, deficiente selección de antenas o instalaciones sin criterios técnicos, y sustenta la formulación de recomendaciones orientadas a mejorar la calidad del servicio de TDT en sectores vulnerables y con condiciones geográficas complejas.

Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo documental y descriptivo, con alcance analítico, orientado al estudio de los factores técnicos que inciden en la recepción de la señal de Televisión Digital Terrestre (TDT) en la localidad de Usme, Bogotá. Dado que el trabajo corresponde a una monografía, no se realizaron mediciones experimentales en campo; en su lugar, se llevó a cabo un análisis sistemático de información técnica, normativa y científica, complementado con simulaciones teóricas basadas en modelos de propagación electromagnética, con el fin de estimar el comportamiento de la señal y su impacto en los parámetros de calidad empleados en sistemas de radiodifusión digital.

Tipo y diseño de la investigación

El estudio se enmarca en un diseño no experimental, debido a que no se manipularon variables ni se ejecutaron pruebas directas sobre sistemas reales de recepción. En su lugar, se adoptó un diseño documental, basado en la recopilación, revisión crítica y síntesis de fuentes secundarias, tales como normativas oficiales, artículos científicos, libros especializados, recomendaciones técnicas internacionales y fichas técnicas de fabricantes.

El carácter descriptivo–analítico de la investigación permitió identificar, organizar y analizar los principales factores técnicos que afectan la calidad de la recepción de la TDT, así como establecer relaciones conceptuales entre el tipo de cable coaxial, la infraestructura domiciliaria y los parámetros de calidad de señal, específicamente la relación señal-ruido (SNR), la tasa de error de bit (BER) y la relación de error de modulación (MER).

Fuentes de información

Las fuentes de información utilizadas se clasificaron en:

- Fuentes normativas y regulatorias, entre las que se incluyen resoluciones y documentos técnicos emitidos por la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), la Agencia Nacional del Espectro (ANE), el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) y recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).
- Fuentes académicas y científicas, tales como artículos indexados, libros especializados en telecomunicaciones, radiodifusión digital y propagación electromagnética, así como trabajos de investigación relacionados con el estándar DVB-T2 y la recepción de TDT en entornos urbanos y montañosos.
- Fuentes técnicas y comerciales, correspondientes a fichas técnicas y documentación de fabricantes de cables coaxiales, antenas y equipos de recepción, empleadas para la comparación de características eléctricas y de desempeño.

Procedimiento metodológico

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo mediante las siguientes etapas:

- Revisión documental inicial, orientada a la identificación de antecedentes, normativa vigente y fundamentos teóricos relacionados con la Televisión Digital Terrestre, la propagación en banda UHF y los parámetros de calidad de señal.
- Análisis teórico de los fenómenos de propagación electromagnética, considerando modelos empíricos como Okumura-Hata y la recomendación UIT-R P.1546, con el fin de explicar las condiciones de cobertura y atenuación presentes en la localidad de Usme.
- Estudio comparativo de componentes de recepción, centrado en el análisis de cables coaxiales RG-59, RG-6 y RG-11, así como en la caracterización de antenas externas

utilizadas en sistemas de recepción TDT, evaluando su impacto teórico sobre los parámetros SNR, BER y MER.

- Análisis normativo, en el cual se revisaron los umbrales de calidad y disponibilidad técnica establecidos en la Resolución CRC 5050 de 2016 y demás disposiciones aplicables, para contrastarlos con los escenarios teóricos de recepción.

- Simulación teórica de atenuación, empleando un algoritmo desarrollado en MATLAB con el propósito de ilustrar el comportamiento comparativo de la pérdida de señal en función del tipo de cable coaxial y la distancia, como apoyo conceptual al análisis técnico.

- Síntesis de resultados y formulación de recomendaciones, integrando los hallazgos teóricos y normativos para proponer lineamientos técnicos orientados a la mejora de la infraestructura domiciliaria de recepción de TDT.

- Simulación teórica de cobertura radioeléctrica mediante software especializado
Con el fin de complementar el análisis analítico desarrollado en MATLAB, se realizó una simulación predictiva de cobertura radioeléctrica empleando el software especializado Xirio. Esta herramienta permite modelar el comportamiento de sistemas de Televisión Digital Terrestre bajo condiciones reales de transmisión y características topográficas del terreno.

Para la simulación se configuró el estándar DVB-T2, protocolo oficial de TDT en Colombia, considerando un ancho de banda de 6 MHz y arquitectura de red SFN (Red de Frecuencia Única). Los parámetros técnicos de la estación transmisora más cercana a la localidad de Usme fueron obtenidos a partir del visor del espectro de la Agencia Nacional del Espectro (ANE), incluyendo:

- Coordenadas geográficas
- Frecuencia de operación

- Potencia radiada efectiva (ERP)
- Altura del sistema radiante
- Polarización

Se empleó el modelo de propagación Okumura-Hata para la estimación del nivel de campo eléctrico, potencia recibida y parámetros derivados como SNR, MER y BER estimados.

Es importante precisar que esta simulación constituye una herramienta de predicción teórica basada en modelos matemáticos de propagación, y no corresponde a mediciones experimentales en campo, manteniendo así el carácter monográfico del estudio.

Alcance y limitaciones del estudio

El alcance de la investigación es teórico y descriptivo, enfocado en el análisis de los factores técnicos que influyen en la recepción de la TDT en la localidad de Usme. No se realizaron mediciones de campo ni pruebas experimentales con equipos de medición, por lo que los resultados no representan valores empíricos de intensidad de campo o calidad de señal, sino una aproximación teórica basada en modelos de propagación radioeléctrica, simulaciones predictivas, normativa y literatura especializada.

Sin embargo, este enfoque permite establecer criterios técnicos fundamentados y generar recomendaciones viables para contextos urbanos y montañosos con características similares, sirviendo como base para futuras investigaciones aplicadas que incluyan mediciones reales y validación experimental de los resultados.

Contexto geográfico y análisis de parámetros de calidad en la recepción de TDT en Usme

Evaluación preliminar del entorno de telecomunicaciones en Usme

Desde la perspectiva de la ingeniería de telecomunicaciones, el acceso eficiente a servicios de Televisión Digital Terrestre (TDT) depende de la interacción entre la infraestructura de transmisión, las condiciones de propagación del medio y las características técnicas de los sistemas de recepción de los usuarios. En la localidad de Usme, ubicada en el suroriente de Bogotá y caracterizada por una geografía montañosa y una expansión urbana heterogénea, estas variables adquieren especial relevancia. La distribución poblacional, que incluye sectores urbanos consolidados y zonas periféricas con limitaciones en infraestructura tecnológica, plantea desafíos para la recepción estable de la señal digital. Las irregularidades topográficas y la presencia de obstáculos naturales afectan la propagación electromagnética en bandas UHF, generando pérdidas por difracción y zonas de sombra que impactan la cobertura efectiva del servicio, tal como se describe en modelos de predicción de campo como la recomendación ITU-R P.1546 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019; Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2013; Agencia Nacional del Espectro, 2025)

En este contexto, la problemática no se limita únicamente a factores de propagación, sino que involucra aspectos técnicos asociados a la instalación domiciliaria y a la selección de componentes de recepción. Deficiencias en la elección de antenas, cableado coaxial con alta atenuación y configuraciones incorrectas de instalación pueden degradar parámetros críticos de calidad de señal como SNR, BER y MER, reduciendo la confiabilidad del sistema DVB-T2 (Gómez Barquero, López Sánchez, Cardona Marcet, & Gutiérrez M, 2014). Así mismo, la planificación del espectro y el despliegue de la TDT en el país establecen condiciones de

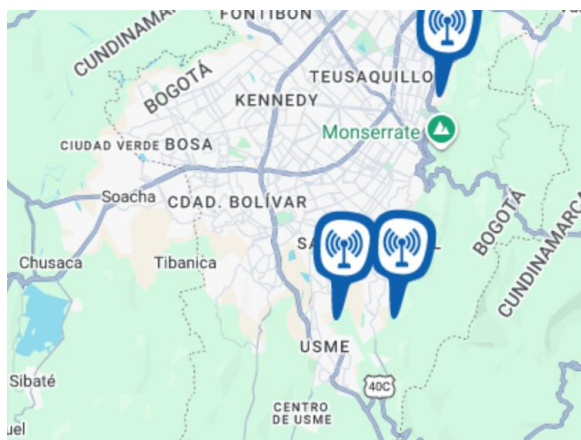
cobertura que no siempre consideran particularidades locales de densidad poblacional y entorno geográfico ((ANE), 2014; MinTIC, 2024). En consecuencia, esta monografía aborda el análisis técnico de dichos factores mediante la evaluación comparativa de sistemas de recepción y el estudio de parámetros de desempeño, con el propósito de identificar alternativas que contribuyan a mejorar la calidad de acceso al servicio en la comunidad objeto de estudio.

Demarcaciones geográficas

En la zona de estudio se identifica la presencia de una torre de transmisión ubicada en el cerro Santa Librada, la cual corresponde al punto de cobertura más cercano para la recepción de la señal de Televisión Digital Terrestre (TDT). Debido a su localización geográfica y a las condiciones del relieve circundante, se presentan pérdidas o atenuaciones de señal en áreas aledañas del sector, lo que hace necesario realizar un análisis geográfico de la cobertura y propagación.

Este análisis se apoya en la información de mapas de cobertura disponibles en plataformas oficiales de consulta, donde se reporta que los datos de cobertura TDT provienen de información suministrada por los operadores de televisión radiodifundida al (MinTIC, 2023).

Figura 1 Punto de referencia (torre/transmisor) Santa Librada



Simulación teórica de cobertura radioeléctrica de la señal TDT en la localidad de Usme (Xirio)

Con el fin de analizar el comportamiento de la señal de Televisión Digital Terrestre (TDT) en la localidad de Usme, se llevó a cabo una simulación de cobertura radioeléctrica mediante el software Xirio Online, empleando el modelo de propagación Okumura-Hata, el cual es ampliamente utilizado para la predicción de intensidad de campo en sistemas de radiodifusión en entornos urbanos y suburbanos.

La simulación fue configurada considerando las características técnicas de un transmisor de televisión digital terrestre operando en la banda UHF, así como las condiciones topográficas propias de la zona de estudio. Para ello, se integró información cartográfica correspondiente al relieve del terreno, permitiendo evaluar el impacto de las variaciones altimétricas sobre la propagación de la señal electromagnética.

Posteriormente, se definió el área de análisis dentro de la localidad de Usme y se procedió a ejecutar el cálculo de cobertura, obteniendo como resultado la distribución espacial de la intensidad de campo eléctrico expresada en $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$. Estos valores permiten estimar el nivel de señal disponible en los diferentes puntos del territorio y determinar las zonas con adecuada recepción del servicio de TDT.

Configuración del sistema de transmisión

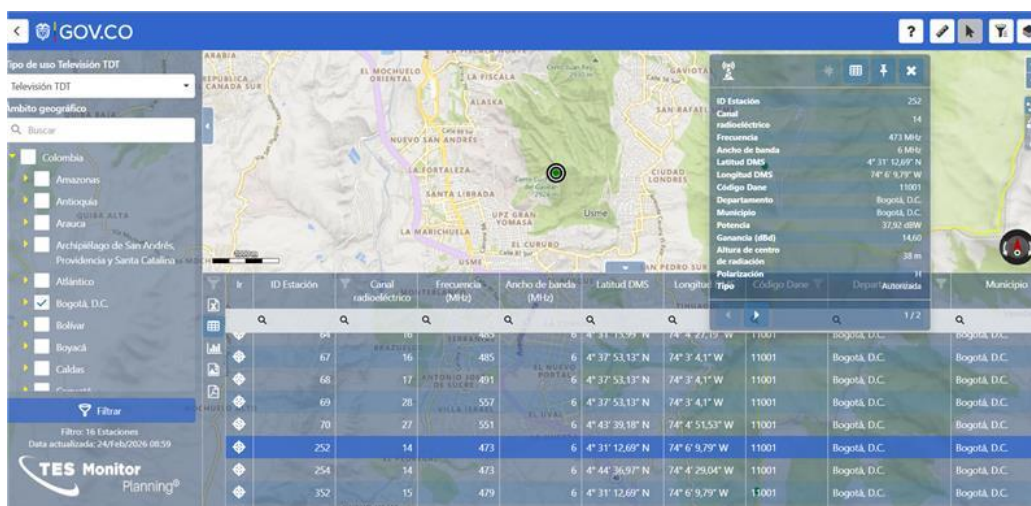
La simulación fue configurada bajo el estándar DVB-T2, adoptado oficialmente en Colombia para la prestación del servicio de TDT. Se consideraron los siguientes parámetros técnicos:

- Ancho de banda: 6 MHz
- Arquitectura de red: SFN (Red de Frecuencia Única)

- Frecuencia de operación: (473 MHz)
- Potencia Radiada Efectiva (ERP): (23,32 dBW)
- Altura del sistema radiante: (38 metros)
- Polarización: (horizontal)

Los datos técnicos fueron obtenidos a partir del visor público de la Agencia Nacional del Espectro (ANE), garantizando coherencia con la infraestructura real de transmisión, como se presenta en la Figura 2.

Figura 2 Parámetros de la antena transmisora de TDT Santa Librada (ANE)



Nota. Obtenido mediante plataforma oficial A.N.E.

Modelo de propagación empleado

Para la estimación de la cobertura se utilizó el modelo de propagación Okumura-Hata, ampliamente empleado en sistemas de radiodifusión para la predicción de niveles de campo eléctrico en entornos urbanos y suburbanos.

Este modelo permite estimar:

- Nivel de campo eléctrico ($\text{dB}\mu\text{V/m}$)

- Potencia recibida (dBm)
- Relación Señal/Ruido (SNR) estimada

Parámetros derivados como MER y BER teóricos

La elección de este modelo se fundamenta en su aplicabilidad a frecuencias VHF/UHF y su reconocimiento internacional en estudios de planificación de redes de radiodifusión.

Consideraciones topográficas

Se incorporó al modelo la información digital del terreno (DTM), lo cual permitió considerar:

- Variaciones de elevación
- Obstáculos naturales
- Condiciones montañosas características de la localidad de Usme

Este aspecto es relevante debido a que la topografía influye directamente en fenómenos como:

- Atenuación por difracción
- Zonas de sombra
- Multitrayectoria

Parámetros evaluados

A partir de la simulación se generaron mapas correspondientes a:

- Distribución espacial del nivel de campo eléctrico
- Potencia recibida estimada
- Zonas con posible degradación de SNR
- Áreas potenciales de afectación en MER y BER

Estos resultados permiten identificar sectores donde la señal podría encontrarse cercana o por debajo del umbral mínimo recomendado para recepción estable del sistema DVB-T2.

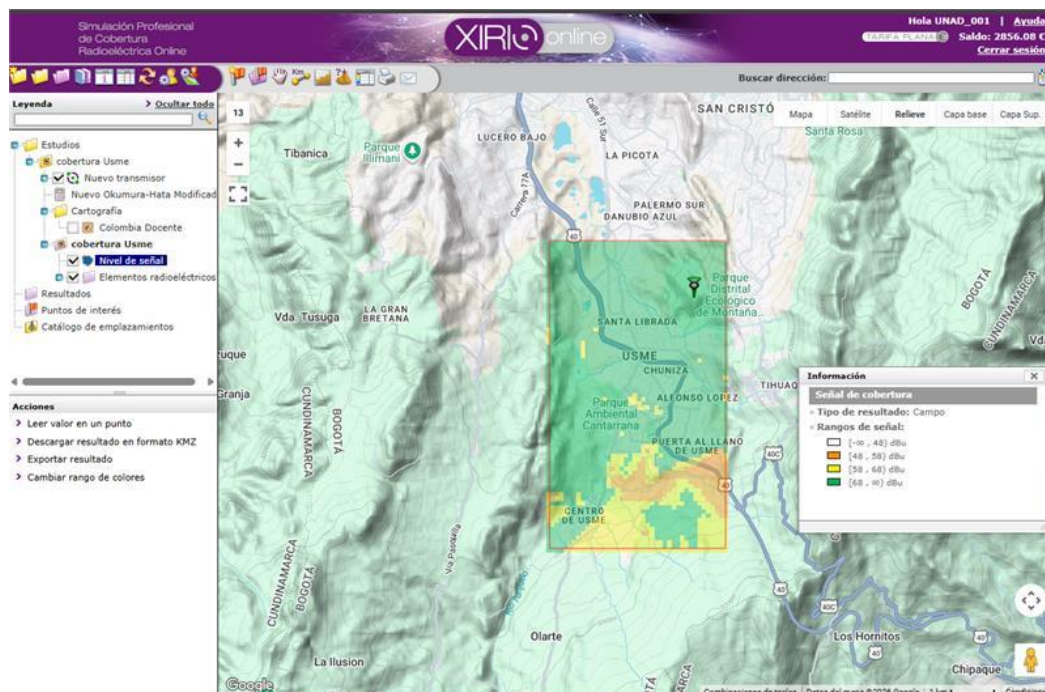
Resultados de la simulación de cobertura radioeléctrica

Mapa de nivel de señal en el área de estudio

El resultado de la simulación se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde se observa la distribución del nivel de señal dentro del área seleccionada en la localidad de Usme. La representación gráfica muestra diferentes rangos de intensidad de campo eléctrico, clasificados por medio de una escala de colores que permite identificar visualmente las zonas con mayor o menor cobertura del servicio.

En particular, se evidencian niveles de señal que alcanzan valores cercanos a 68.2 dB μ V/m en puntos específicos del área de análisis, lo cual indica condiciones favorables para la recepción de la señal de televisión digital terrestre. No obstante, también se observan variaciones en la intensidad de campo asociadas a las características del relieve montañoso presente en la zona, que pueden generar atenuaciones y pérdidas de propagación.

Figura 3 Mapa de predicción del nivel de campo eléctrico para la señal de Televisión Digital Terrestre (TDT) en la localidad de Usme



Nota. Obtenido mediante simulación teórica radioeléctrica utilizando el modelo de propagación Okumura-Hata, en el software Xirio Online.

Análisis puntual de cobertura en un entorno de lluvia

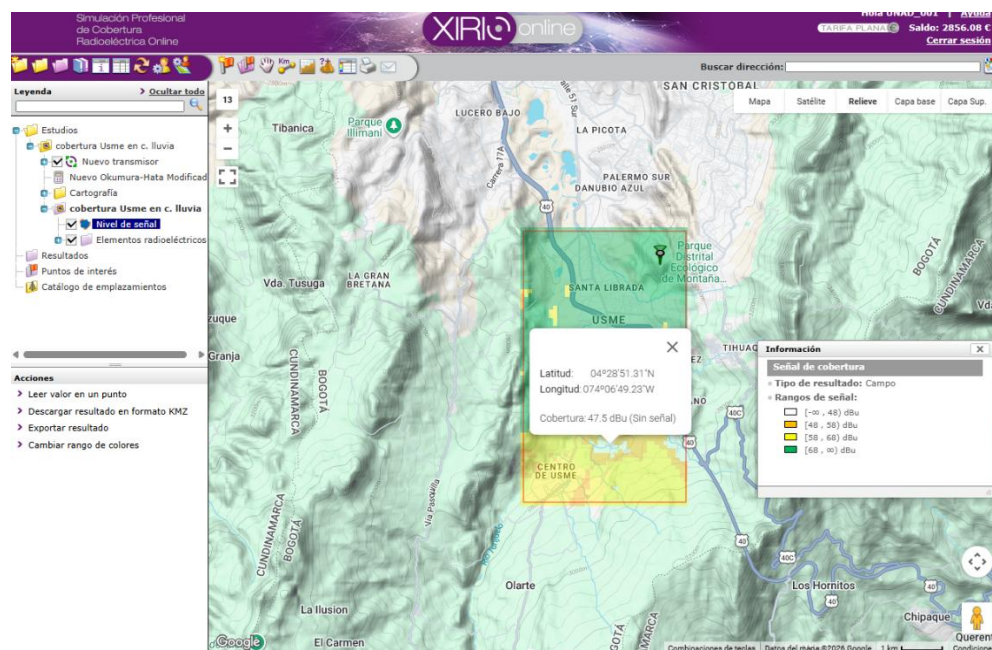
Adicionalmente, se realizó una simulación de cobertura radioeléctrica empleando el modelo Okumura-Hata modificado a una frecuencia de 470 MHz, incorporando un margen de desvanecimiento de 6 dB para representar pérdidas adicionales asociadas a condiciones de lluvia y variabilidad del canal.

Los resultados evidencian una reducción en los niveles de campo eléctrico en sectores específicos de la localidad de Usme, particularmente en zonas con mayor complejidad topográfica. En el punto de análisis mostrado en la Figura 4, se obtuvo un nivel de señal de 47.5 dB μ V/m, valor que se encuentra por debajo del umbral mínimo recomendado para una recepción estable del sistema DVB-T2.

Este comportamiento indica que, bajo condiciones de lluvia, la señal experimenta pérdidas adicionales que afectan la intensidad de campo disponible en el receptor, generando áreas clasificadas como “sin señal” dentro del mapa de cobertura. La disminución del nivel de campo eléctrico impacta directamente parámetros de calidad como la relación señal-ruido (SNR) y la tasa de error de bits (BER), aumentando la probabilidad de interrupciones o pixelación en la recepción del servicio.

El análisis confirma que las condiciones atmosféricas y el relieve montañoso influyen significativamente en la propagación en banda UHF, lo que justifica la necesidad de implementar estrategias técnicas de mitigación para mejorar la estabilidad del servicio en escenarios críticos.

Figura 4 Estimación puntual del nivel de campo eléctrico punto crítico en entornos de lluvia.



Nota. Obtenida mediante simulación de cobertura radioeléctrica basada en el modelo en el software Xirio Online.

Análisis técnico de impacto en parámetros MER, BER y SNR

El desempeño de los sistemas de Televisión Digital Terrestre se evalúa mediante indicadores cuantitativos que permiten caracterizar la calidad del enlace radioeléctrico y la robustez del proceso de recepción digital. Entre estos parámetros destacan la relación señal-ruido (SNR), la tasa de error de bits (BER) y la relación de error de modulación (MER), ampliamente empleados en el análisis de sistemas DVB-T2 basados en modulación OFDM (Magaña, 2003, págs. 6, 20). La SNR representa el cociente entre la potencia de la señal útil y la potencia del ruido presente en el canal, expresándose generalmente en decibelios como:

$$SNR(dB) = 10 * \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_n} \right) \quad (1)$$

Esta métrica es fundamental para evaluar el desempeño del canal de comunicación, dado que una disminución en la potencia recibida o un incremento del ruido afecta directamente la calidad de la demodulación y la decodificación del flujo digital (Tomasi, 2015)

Por su parte, la tasa de error de bits (BER) cuantifica la proporción de bits incorrectamente recibidos respecto al total transmitido, constituyendo un indicador directo del nivel de degradación del enlace digital:

$$BER = \frac{\text{Numero de bits erroneos}}{\text{Numero total de bist recibidos}} \quad (2)$$

En sistemas de radiodifusión digital terrestre, valores elevados de BER suelen asociarse a fenómenos de multitrayectoria, atenuación y condiciones de sombra electromagnética, afectando la continuidad del servicio (Union Internacional de Telecomunicaciones, 2022; Tomasi, 2015) Complementariamente, el MER evalúa la precisión de la modulación al comparar la señal ideal

con la señal recibida en el plano de constelación, siendo un parámetro clave para la verificación del desempeño del receptor:

$$MER = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (IS_j^2 + SQ_j^2)} \right] \quad (3)$$

La degradación del MER está directamente relacionada con interferencias, ruido y limitaciones en la relación portadora-ruido, impactando la capacidad de reconstrucción de los símbolos transmitidos (Hranac, 2003). En entornos con condiciones topográficas complejas como la localidad de Usme, estos parámetros permiten cuantificar el efecto de la atenuación geográfica, las pérdidas en el sistema de recepción y la configuración de antenas sobre la calidad final del servicio de TDT.

Evaluación de los parámetros de calidad de señal en el entorno de estudio

La evaluación de los parámetros de calidad de señal en el entorno de estudio constituye una etapa fundamental para comprender el desempeño real del sistema de recepción de Televisión Digital Terrestre en la localidad de Usme. Esta zona presenta características topográficas complejas asociadas a relieve montañoso, variaciones de altitud y presencia de obstáculos naturales y urbanos que influyen directamente en la propagación de ondas electromagnéticas, generando fenómenos de atenuación, difracción y multitrayectoria. En entornos de estas características, la potencia de señal recibida puede presentar variaciones significativas, afectando la relación señal-ruido y la estabilidad del proceso de demodulación digital (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2013). Adicionalmente, factores climáticos propios del entorno andino pueden modificar las condiciones de propagación, introduciendo fluctuaciones adicionales en los niveles de señal (Casanova-Vargas, Oviedo-Perdomo, & Gaona-García, 2017).

Desde una perspectiva cuantitativa, la degradación de la SNR en escenarios con obstáculos geográficos o distancias elevadas respecto al transmisor repercute directamente en el incremento de la tasa de error de bits, lo que impacta la continuidad del servicio digital. Estudios sobre medición en entornos de sombra electromagnética han demostrado que variaciones en estos parámetros pueden derivar en interrupciones de recepción o pérdida de calidad audiovisual (Union Internacional de Telecomunicaciones, 2022). Asimismo, investigaciones realizadas en la banda UHF para la localidad de Usme evidencian que la presencia de edificaciones y accidentes geográficos genera pérdidas adicionales por obstrucción que deben ser consideradas en el análisis del enlace radioeléctrico (Acosta Peña, Gaona García, & Oviedo Perdomo , 2018). En consecuencia, la evaluación integrada de MER, BER y SNR en el entorno de estudio permite

establecer un diagnóstico técnico del sistema de recepción, proporcionando bases para la comparación de configuraciones de antena y la optimización del diseño de enlace desarrollados en las secciones posteriores.

Sistema de cableado en la recepción de TDT

El cableado coaxial constituye un elemento fundamental en el sistema de recepción de Televisión Digital Terrestre (TDT), ya que transporta la señal desde la antena hasta el receptor, influyendo directamente en la calidad final del enlace. La elección del tipo de cable, su longitud y las condiciones de instalación determinan el nivel de atenuación introducido en la señal, impactando parámetros críticos como la relación señal-ruido (SNR), la relación de error de modulación (MER) y la tasa de error de bits (BER).

Los cables coaxiales permiten minimizar interferencias externas y mantener la adecuada adaptación de impedancia; sin embargo, presentan pérdidas dependientes de la frecuencia y del material dieléctrico, especialmente en la banda UHF (470–608 MHz), donde opera la TDT en Colombia (TVC en Línea, 2020; Belden, 2023; BeldenInc, 2023).

Los cables coaxiales tipo RG utilizados en televisión digital terrestre presentan una impedancia característica de 75Ω y pérdidas dependientes de la frecuencia. Las fichas técnicas comerciales evidencian que el RG59 presenta mayor atenuación en banda UHF en comparación con RG6 y RG11, siendo este último el de menor pérdida en trayectos extensos (Silex System & Telecom, 2020; Koax24, s.f.; Koax24, 2024; TVC en Línea, 2020)

Características técnicas de cables coaxiales tipo RG

- Los cables coaxiales tipo RG empleados en sistemas de televisión digital terrestre presentan las siguientes características técnicas:

- Impedancia característica: 75 Ω
- Atenuación dependiente de la frecuencia
- Pérdidas expresadas en dB por unidad de longitud
- Diferente nivel de apantallamiento (malla simple, doble o triple blindaje)
- Variación del diámetro del conductor y dieléctrico según el tipo

Las fichas técnicas comerciales muestran que:

- **RG-59** presenta mayor atenuación en banda UHF.
- **RG-6** constituye una solución intermedia de uso residencial estándar.
- **RG-11** ofrece menor pérdida en trayectos extensos, debido a su mayor diámetro y mejor blindaje (Silex System & Telecom, 2020; Koax24, s.f.; Koax24, 2024; Telecom, 2014)

Tabla 3 Tabla comparativa cables coaxiales

Tipo	Impedancia	Diámetro ext.	Tipo de blindaje	Atenuación típica a 600 MHz (dB/100 m)	Atenuación real a 20 m	Uso recomendado	Referencia de fabricante
RG-59	75 Ω	\approx 6,1 mm	Malla simple o doble (\approx 60–80%)	60–68 dB	12–13,6 dB	Tramos cortos (<15 m)	(Koax24, 2024)
RG-6	75 Ω	\approx 6,9–7,0 mm	Doble blindaje (foil + malla 90%)	40–48 dB	8–9,6 dB	Instalación residencial estándar	(Silex System & Telecom, 2020)
RG-11	75 Ω	\approx 10,3 mm	Doble o triple blindaje	25–32 dB	5–6,4 dB	Trayectos largos (>25 m)	(Koax24, s.f.)

Atenuación en banda UHF (470–608 MHz)

La atenuación del cable aumenta con la frecuencia. Por esta razón, el extremo superior de la banda (\approx 600 MHz) representa el escenario más crítico en términos de pérdidas.

Tabla 4 Atenuación típica de cables coaxiales a 600 MHz (banda UHF)

Tipo de cable	5 m (dB)	10 m (dB)	15 m (dB)
RG-59	3,4 dB	6,8 dB	10,2 dB
RG-6	2,4 dB	4,8 dB	7,2 dB
RG-11	1,6 dB	3,2 dB	4,8 dB

Tabla 5 Atenuación aproximada a 470 MHz

Tipo de cable	5 m (dB)	10 m (dB)	15 m (dB)
RG-59	2,8 dB	5,5 dB	8,3 dB
RG-6	1,9 dB	3,8 dB	5,7 dB
RG-11	1,25 dB	2,5 dB	3,75 dB

Simulación complementaria de atenuación

Con el propósito de ilustrar el comportamiento de la pérdida de señal en función de la distancia, se desarrolló una simulación computacional en MATLAB, presentada en el Apéndice A.

En dicha simulación se emplearon valores promedio simplificados de atenuación por metro para cables RG-59 y RG-11, con fines ilustrativos. Estos valores fueron tomados como referencia teórica y pueden diferir ligeramente de los rangos específicos reportados por fabricantes comerciales.

La simulación permite visualizar la variación lineal de la pérdida de señal en función de la longitud del cable y evaluar el efecto compensatorio de un amplificador de línea, evidenciando cómo el tipo de conductor influye en el margen de recepción del sistema TDT.

Es importante aclarar que los resultados obtenidos no corresponden a mediciones experimentales, sino a una modelación teórica simplificada utilizada como herramienta de apoyo para la comprensión del fenómeno de atenuación.

Análisis del sistema de cableado en vivienda de dos pisos

En una vivienda típica de dos niveles, la longitud del cable coaxial entre la antena instalada en cubierta y el receptor interior suele oscilar entre 5 y 15 metros, considerando bajada vertical y distribución interna.

Dado que la TDT en Colombia opera en la banda UHF comprendida entre 470 MHz y 608 MHz, la atenuación introducida por el cable coaxial representa un factor determinante en el margen de enlace. Las pérdidas en el conductor aumentan tanto con la frecuencia como con la longitud del tramo, afectando directamente la potencia recibida y, en consecuencia, la relación señal-ruido (SNR).

A 600 MHz, el uso de RG-59 en una longitud de 15 m introduce aproximadamente 10 dB de pérdida, mientras que el RG-11 presenta pérdidas cercanas a 5 dB en el mismo tramo. Esta diferencia de 5 dB implica, en términos logarítmicos, una reducción significativa en la potencia disponible en el receptor.

Desde el punto de vista del desempeño del sistema:

- Una mayor atenuación reduce la SNR.
- Una reducción en SNR deteriora el MER.
- La degradación del MER incrementa la probabilidad de errores binarios (BER).

En zonas con niveles de campo marginales o afectadas por irregularidades topográficas, una pérdida adicional de 4–5 dB puede llevar el sistema al umbral de falla, generando congelamientos de imagen o interrupciones del servicio.

Por tanto, la selección del cable coaxial constituye un elemento crítico dentro del presupuesto de enlace del sistema de recepción TDT y debe considerarse dentro de las estrategias de optimización técnica en entornos residenciales.

Comparación técnica de antenas externas para recepción de TDT

La selección de la antena receptora constituye un factor determinante en el desempeño de los sistemas domiciliarios de Televisión Digital Terrestre (TDT), ya que influye directamente en el nivel de señal captada, la estabilidad frente al multitrayecto y la mitigación de interferencias. Las características eléctricas y geométricas de cada tipo de antena como la ganancia, la directividad, el ancho de banda y la polarización condicionan su comportamiento frente a las condiciones de propagación presentes en la banda UHF (470–698 MHz).

En entornos con topografía irregular y presencia de obstáculos, como la localidad de Usme, la adecuada selección del dispositivo receptor permite compensar pérdidas de trayectoria y mejorar parámetros de calidad de señal como la relación señal-ruido (SNR), la tasa de error de bit (BER) y la relación de error de modulación (MER). Por esta razón, se realiza una comparación técnica de los tipos de antenas externas comúnmente empleadas en instalaciones residenciales de TDT, considerando sus propiedades operativas y aplicaciones recomendadas (TDT Profesional, 2020; Solís, 2006).

La Figura 5 presenta una síntesis comparativa de los tipos de antenas estudiados y los parámetros técnicos considerados en telecomunicaciones para la recepción de TDT, permitiendo visualizar las diferencias en directividad, ganancia y patrón de radiación. Esta representación apoya la fundamentación técnica de la propuesta de mejora planteada en la investigación.

Figura 5 Antenas y parámetros que se evalúan en telecomunicaciones para TDT en banda UHF

Tipo de antena	Rango típico de frecuencia	Ganancia (dBi)	Directividad	Ancho de banda	Polarización	Ventajas técnicas	Limitaciones	Aplicación recomendada
Yagi-Uda	UHF (470-698 MHz)	8 - 15	Alta	Estrecho	Horizontal	Alta ganancia y rechazo a interferencias; adecuada para señales débiles	Requiere orientación precisa; menor cobertura angular	Zonas con baja intensidad de señal o presencia de obstáculos
Log-periódica	VHF/UHF amplio	6 - 10	Media	Amplio	Horizontal	Estable en amplio rango de frecuencias; versátil ante variaciones de canal	Menor ganancia que Yagi	Áreas urbanas/suburbanas con señales variables
Panel (plana)	UHF	5 - 9	Media	Moderado	Horizontal	Compacta y fácil instalación; buena estética y bajo impacto visual	Menor alcance y ganancia	Viviendas urbanas cercanas al transmisor
Omnidireccional	UHF	2 - 5	Baja	Amplio	Variable	No requiere orientación; cobertura 360°	Baja ganancia; susceptible a interferencias	Entornos con múltiples reflexiones o ubicación incierta del transmisor

Comparación de los principales tipos de antenas para recepción de TDT en banda UHF, destacando sus características técnicas, ventajas, limitaciones y aplicaciones según el entorno de cobertura.

Estimación referencial de recursos para una instalación domiciliaria

Para la implementación de una solución técnica orientada a mejorar la recepción de Televisión Digital Terrestre (TDT) en viviendas de la localidad de Usme, es necesario considerar recursos materiales, tecnológicos, humanos y financieros. La estimación presupuestal se fundamenta en valores referenciales del mercado colombiano para equipamiento comúnmente utilizado en instalaciones domiciliarias de recepción digital.

La selección de estos recursos responde al análisis técnico desarrollado en capítulos previos, donde se evidenció la importancia de la antena, el cableado y los elementos de distribución en la preservación de la calidad de señal. La Tabla 6 presenta una aproximación del costo necesario para la implementación de la solución propuesta.

Tabla 6 Recursos necesarios

Recurso / Material	Cantidad estimada	Precio unitario aprox. (COP)	Costo total (COP)
Antena externa TDT tipo Yagi o Log-periódica	1 unidad	\$70.000 – \$160.000	\$70.000 – \$160.000
Cable coaxial RG-11	20 metros promedio	\$3.500 – \$6.500 / metro	\$70.000 – \$130.000
Conectores tipo F	4 unidades	\$1.000 – \$2.500 c/u	\$4.000 – \$10.000
Splitter 2-4 salidas (75 Ω)	1 unidad	\$8.000 – \$25.000	\$8.000 – \$25.000
Amplificador de señal (opcional)	1 unidad	\$45.000 – \$110.000	\$45.000 – \$110.000
Soporte y fijación para antena	1 unidad	\$18.000 – \$35.000	\$18.000 – \$35.000
Mano de obra/técnico instalador	1 servicio	\$60.000 – \$150.000	\$60.000 – \$150.000
Costo total estimado del proyecto			\$220.000 – \$495.000

Propuesta teórica de optimización de la infraestructura domiciliaria

El diseño teórico propuesto para la mejora de la recepción de TDT en la localidad de Usme se fundamenta en criterios de eficiencia técnica, accesibilidad económica y cumplimiento del marco normativo colombiano. A partir del análisis comparativo de configuraciones de recepción, se plantea una arquitectura domiciliaria basada en antena direccional externa y cableado coaxial optimizado, orientada a maximizar la captación de señal y minimizar pérdidas por distribución.

La caracterización detallada de los dispositivos, infraestructura, instrumentación y lineamientos regulatorios que sustentan esta propuesta se presenta en la Tabla 7. Caracterización técnica, infraestructura y marco normativo de la solución propuesta para optimización de recepción TDT en entorno residencial, la cual resume los componentes del sistema y su función dentro del esquema de mejora planteado.

Tabla 7 Caracterización técnica, infraestructura y marco normativo de la solución propuesta para optimización de recepción TDT en entorno residencial.

Categoría	Elemento / Componente	Descripción técnica y función dentro del sistema
Caracterización de dispositivos	Antena externa de alto rendimiento	Diseñada para la captación de señales de Televisión Digital Terrestre (TDT) en banda UHF (470–698 MHz). Se instala con orientación directa hacia la estación transmisora más cercana, con el propósito de maximizar la ganancia efectiva y mejorar la relación señal-ruido (SNR).
	Splitters de 2 0 más salidas	Dispositivos pasivos de distribución que permiten alimentar múltiples receptores dentro de la vivienda, garantizando adaptación de impedancia (75Ω) y mínima degradación de señal. La cantidad de salida depende de la cantidad de dispositivos de la vivienda
	Medidor de señal TDT	Instrumento portátil utilizado para cuantificar intensidad de señal (dB μ V), SNR y verificar condiciones de recepción durante la instalación y ajuste del sistema.
Alimentación	Componentes pasivos	La antena, cable coaxial y divisores no requieren alimentación eléctrica externa, operando únicamente mediante la señal RF recibida.
	Amplificador (opcional)	En caso de emplearse, funciona mediante fuente de alimentación conectada a red domiciliaria (110 V AC), conforme a especificaciones del fabricante.

Visualización	Evaluación en televisores	Verificación práctica de calidad de imagen y sonido en distintos puntos de la vivienda, considerando estabilidad y ausencia de pixelación.
	Registro fotográfico	Documentación visual del estado previo y posterior a la intervención técnica, como evidencia comparativa del mejoramiento del sistema.
Control	Orientación de antena	Ajuste manual del ángulo de azimut y elevación durante la instalación para optimizar el nivel de señal recibido.
	Capacitación a usuarios	Instrucción básica sobre diagnóstico de fallas comunes, revisión de conexiones y orientación del sistema.
Instrumentación	Medidor de campo RF	Equipo especializado para medición de intensidad de campo eléctrico recibido y verificación de parámetros técnicos en banda UHF.
	AutoCAD	Herramienta de diseño asistido por computador utilizada para elaborar el plano de distribución del cableado y ubicación de componentes.
Cumplimiento normativo	Resolución CRC 4047 de 2012	Marco regulatorio expedido por la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), que establece condiciones técnicas para la prestación del servicio de televisión.
	Resolución CRC 6333 de 2021	Actualización normativa emitida por la Comisión de Regulación de Comunicaciones relacionada con disposiciones técnicas y regulatorias del sector.
	Especificaciones técnicas ANE	Lineamientos técnicos establecidos por la Agencia Nacional del Espectro para la gestión y uso eficiente del espectro radioeléctrico en Colombia.
Infraestructura y cableado	Cable coaxial RG-11	Conductor de baja atenuación recomendado para trayectos extensos, reduciendo pérdidas en banda UHF.
	Conectores tipo F	Elementos de terminación que garantizan continuidad eléctrica, correcta adaptación de impedancia y reducción de pérdidas por reflexión.
	Canaletas y fijaciones	Elementos de organización y protección del cableado interior.
	Soportes estructurales	Estructuras metálicas o galvanizadas para instalación segura de antena en exteriores.

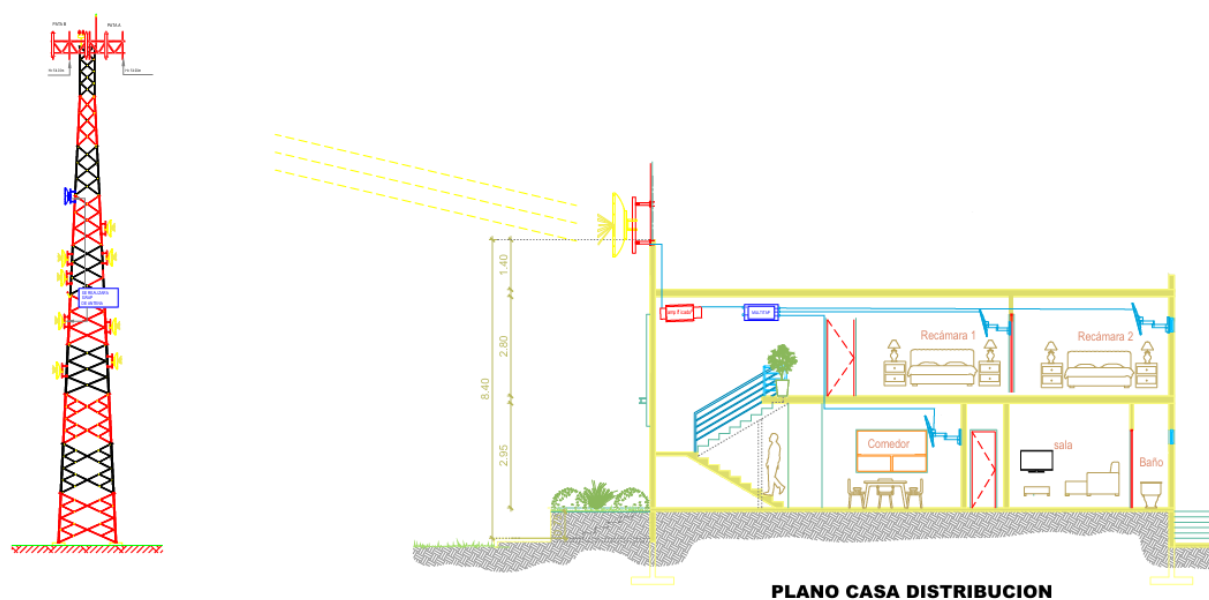
Planos

El plano de distribución presentado en la Figura 6 tiene como finalidad representar de manera esquemática la disposición de los componentes principales del sistema de recepción de Televisión Digital Terrestre en una vivienda tipo de la localidad de Usme. En este plano se identifican la ubicación de la antena externa, el recorrido del cable coaxial, los elementos de distribución y los puntos de conexión hacia los receptores.

La elaboración del plano responde al objetivo específico de formular una propuesta técnica orientada a la optimización de la infraestructura domiciliar de recepción, permitiendo visualizar la aplicación práctica de los criterios analizados en el marco teórico, tales como la

reducción de pérdidas por atenuación, la correcta selección del medio de transmisión y la organización eficiente del cableado interno.

Figura 6 Plano de distribución

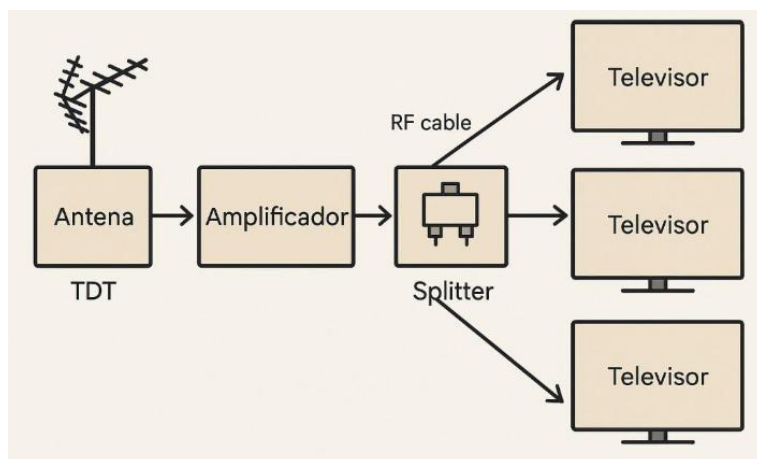


Nota. Plano de distribución realizado en AutoCAD

Diagrama De Bloques

El diagrama de bloques presentado en la Figura 7 describe de manera funcional el proceso de recepción y distribución de la señal de Televisión Digital Terrestre, desde la captación de la señal radiada por la estación transmisora hasta su visualización en los equipos receptores. Cada bloque representa un subsistema del proceso, incluyendo la antena externa, el medio de transmisión coaxial, los elementos de distribución y el receptor final.

Figura 7 Diagrama de bloques, distribución de la implementación



Este diagrama permite analizar la incidencia de cada componente en la calidad de la señal recibida, facilitando la comprensión de cómo las pérdidas por propagación, atenuación en el cableado y configuraciones de instalación influyen sobre los parámetros MER, BER y SNR. Su inclusión se encuentra directamente relacionada con los objetivos del estudio, al servir como herramienta de apoyo para la evaluación técnica y la formulación de recomendaciones orientadas a mejorar el desempeño del sistema de recepción de TDT.

Explicación de la simulación Matlab

La simulación tiene como objetivo ilustrar de forma teórica el efecto de la atenuación del cable coaxial sobre la señal de Televisión Digital Terrestre (TDT), en función de la longitud del cable y del tipo de coaxial utilizado. Para ello, se emplea un modelo simplificado de pérdidas lineales, comúnmente utilizado en análisis preliminares de sistemas de recepción.

La pérdida total del cable se calcula mediante la expresión:

$$A_{total} = \alpha * L$$

Donde A_{total} es la atenuación total en decibelios (dB), α corresponde al coeficiente de atenuación del cable (dB/m) a una frecuencia aproximada de 600 MHz, y L representa la longitud del cable en metros.

Ejemplo de cálculo

Para una instalación domiciliaria con una longitud de cable de 30 m, se consideran los siguientes valores típicos de atenuación en UHF:

Cable RG-59: $\alpha = 0.20 \text{ dB/m}$

Cable RG-11: $\alpha = 0.07 \text{ dB/m}$

RG-59: $A_{total} = 0.20 * 30 = 6.0 \text{ dB}$

RG-11: $A_{total} = 0.07 * 30 = 2.1 \text{ dB}$

Estos resultados evidencian que, para la misma longitud, el cable RG-59 introduce una pérdida casi tres veces mayor que el RG-11, lo cual impacta directamente en la relación señal-ruido (SNR) y, en consecuencia, en parámetros de calidad como MER y BER.

Adicionalmente, si se considera un escenario teórico con un amplificador de 10 dB de ganancia, la potencia efectiva a la salida del sistema puede estimarse como:

$$P_{salida} = P_{entrada} - A_{total} + G$$

Donde G es la ganancia del amplificador en dB. Este cálculo permite ilustrar que, aunque la amplificación puede compensar parcialmente las pérdidas, su efectividad depende de que la atenuación del cableado no sea excesiva.

En síntesis, el ejemplo de cálculo incluido en la simulación refuerza el análisis técnico desarrollado, demostrando de manera cuantitativa la importancia de seleccionar cables coaxiales

de baja atenuación para garantizar una recepción estable de la señal TDT en entornos con condiciones desfavorables, como la localidad de Usme.

Explicación y ejemplo de cálculo de la simulación teórica en Matlab

Se desarrolló un algoritmo en MATLAB orientado a modelar la pérdida de señal en función de la distancia y del tipo de cable coaxial empleado (RG-59, RG-6 y RG-11). La simulación permitió comparar escenarios de instalación domiciliaria y estimar el impacto de la atenuación sobre la potencia recibida, constituyéndose en una herramienta conceptual de apoyo al análisis técnico del sistema de recepción TDT.

Como material complementario, se dispone un recurso audiovisual donde se explica de manera didáctica el procedimiento de simulación y el ejemplo de cálculo desarrollado sección:

https://drive.google.com/file/d/17xzcB_aOwrg18wy2S_qaXxwul91tYukF/view?usp=drive_link

Síntesis de resultados y validación técnica de la propuesta

Con base en el análisis teórico, normativo y técnico desarrollado a lo largo de la presente monografía, se planteó una solución orientada a optimizar las condiciones de recepción y desempeño de la infraestructura de telecomunicaciones evaluada.

Como evidencia complementaria, se presentan registros instrumentales del estado inicial del sistema y del comportamiento posterior a la intervención técnica aplicada.

Estado inicial del sistema

En la Figura 8 Se evidencia que el canal evaluado (CH 72 – 513 MHz) presentaba estado Fallado, con nivel de recepción de -1.3 dBmV y ausencia de lectura válida de parámetros críticos como MER (Modulation Error Ratio) y BER (Bit Error Rate). Esta condición es indicativa de imposibilidad de sincronización y demodulación correcta de la portadora digital.

Este comportamiento puede asociarse a fenómenos de atenuación excesiva, desadaptación de impedancias, pérdidas por inserción en conectores, deterioro del cable coaxial, presencia de ruido impulsivo o interferencia electromagnética, factores que reducen el margen operativo del sistema y comprometen la continuidad del servicio.

Figura 8 Estado inicial del sistema con falla de recepción.

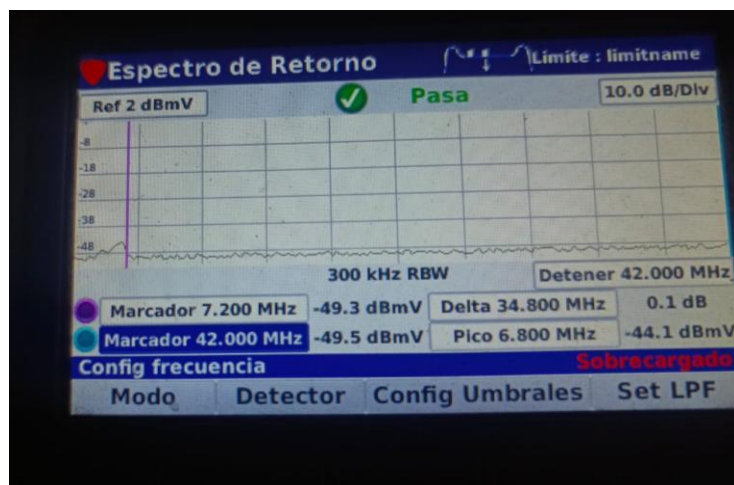


Estado posterior a la optimización técnica

Posterior a la aplicación de acciones correctivas sobre la infraestructura física y parámetros de operación, la medición instrumental presentada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** registra estado Pasa, observándose una respuesta espectral estable, niveles controlados y comportamiento dentro de umbrales funcionales de operación.

La estabilización del espectro de retorno evidencia una mejora en la integridad de señal, reducción de reflexiones por desadaptación, mejor relación señal-ruido efectiva y recuperación del margen técnico requerido para una operación confiable del sistema.

Figura 9 Estado del sistema posterior a la mejora implementada



Análisis comparativo

La comparación entre ambos escenarios permite establecer que la intervención técnica aplicada produjo una mejora sustancial en la capacidad operativa del enlace de recepción, pasando de una condición de falla de demodulación a un estado funcionalmente estable.

Los resultados confirman que variables como la calidad del medio de transmisión, correcta terminación de conectores, control de pérdidas distribuidas, apantallamiento del sistema y adecuada configuración de red interna inciden directamente sobre el desempeño global del servicio.

En consecuencia, se valida técnicamente que la implementación de buenas prácticas de ingeniería en la infraestructura domiciliaria constituye una estrategia efectiva para incrementar la confiabilidad, disponibilidad y calidad de recepción de servicios de televisión digital y distribución RF en entornos residenciales.

Conclusiones

El análisis documental permitió confirmar que la recepción de Televisión Digital Terrestre (TDT) en la localidad de Usme se ve afectada por factores técnicos, geográficos y de instalación, lo cual genera degradación de la señal y limitaciones en el acceso a contenido informativo, educativo y cultural. La topografía montañosa y las barreras físicas presentes en el territorio intensifican fenómenos como multitrayecto y difracción, afectando la estabilidad del servicio, tal como lo indica la Agencia Nacional del Espectro (Agencia Nacional del Espectro, 2025)

Asimismo, se identificó que gran parte de los problemas de recepción están asociados al uso de cableado inapropiado, siendo el RG-59 uno de los más empleados pese a su alta atenuación en comparación con RG-6 y RG-11. La literatura técnica demuestra que el cable RG-11 presenta menores pérdidas, lo que lo convierte en el más adecuado para instalaciones de media distancia en entornos urbanos (TVC en Línea, 2020; IBK Cables y Sistemas, 2021) . Esto confirma la importancia de seleccionar materiales adecuados para garantizar la integridad de la señal recibida.

Del mismo modo, se evidenció que las antenas externas tipo Yagi o log-periódicas ofrecen mejor ganancia y directividad, características clave en zonas con obstáculos y cambios de relieve como Usme (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019; MinTIC, 2021). Su correcta orientación contribuye a disminuir pérdidas por multitrayecto y mejora parámetros como MER, SNR y BER, alineándose con los niveles mínimos establecidos por la normativa de la Comisión de Regulación de Comunicaciones (Comisión de Regulación de Comunicaciones, 2012; MinTIC, 2021) .

Con base en la revisión teórica, se concluye que una mejora significativa en la recepción de TDT no requiere soluciones altamente costosas, sino una adecuada selección de componentes, cableado de baja pérdida, instalación técnica correcta y uso de amplificadores solo cuando sea necesario, tal como sugieren las guías regulatorias y técnicas estudiadas (PROMAX, 2019; MinTIC, 2024). Esto convierte la propuesta en una alternativa viable para viviendas de estratos populares, contribuyendo directamente a la reducción de la brecha digital.

Finalmente, el estudio sienta bases para futuros trabajos aplicados que podrían incluir mediciones en campo, simulación de antenas optimizadas o implementación de un plan comunitario de instalación. Esto permitiría fortalecer el acceso equitativo al servicio, reconociendo la TDT como un recurso informativo esencial para sectores vulnerables, tal como lo plantean las estrategias nacionales de conectividad (MinTIC, 2023). La evidencia instrumental comparativa permitió verificar que la aplicación de criterios técnicos de instalación, ajuste y control de pérdidas mejora significativamente el desempeño del sistema, validando la importancia de una adecuada infraestructura de recepción.

Recomendaciones

Con base en el análisis documental desarrollado y en la síntesis de los fundamentos teóricos, normativos y técnicos revisados, se formulan las siguientes recomendaciones orientadas a mejorar la recepción de la Televisión Digital Terrestre en viviendas de la localidad de Usme:

Se recomienda el uso de antenas externas direccionales tipo Yagi-Uda o log-periódicas, con ganancia superior a 12 dBi, orientadas hacia la estación transmisora más cercana (torre Santa Librada). En zonas con alta presencia de obstáculos o señal débil, las antenas Yagi-Uda ofrecen mejor desempeño debido a su mayor directividad, mientras que las antenas log-periódicas resultan más estables frente a variaciones de frecuencia y multitrayectoria.

Debe evitarse el uso de cable coaxial RG-59 en instalaciones de TDT, debido a sus elevadas pérdidas en la banda UHF. Para longitudes de cable superiores a 15 metros o en escenarios con señal debilitada, se recomienda el empleo de RG-11, mientras que el RG-6 puede utilizarse en trayectos cortos y con niveles de señal adecuados. La correcta selección del cable contribuye significativamente a preservar la relación señal-ruido y reducir la degradación del MER y BER.

Se aconseja minimizar la longitud total del cable coaxial y reducir el número de empalmes, conectores y divisores de señal, ya que cada elemento introduce pérdidas adicionales. En viviendas con múltiples televisores, se deben utilizar divisores de señal certificados de 75Ω y evitar configuraciones improvisadas que afecten la adaptación de impedancia.

El empleo de amplificadores debe considerarse únicamente cuando, tras optimizar la antena y el cableado, los niveles de señal continúan siendo insuficientes. La sobre-amplificación puede incrementar el ruido y deteriorar los parámetros MER y BER, por lo que su uso debe basarse en criterios técnicos y no como solución primaria.

Es fundamental verificar la polarización de la señal transmitida y ajustar la antena en consecuencia, generalmente en polarización horizontal para la TDT en Colombia. Una orientación incorrecta puede generar pérdidas significativas incluso cuando se utilizan componentes de alta calidad.

Se recomienda que trabajos futuros complementen el presente estudio mediante mediciones de campo de intensidad de señal, MER, BER y SNR en distintos sectores de la localidad de Usme, así como la simulación avanzada de antenas y escenarios de propagación. Estas investigaciones permitirían validar empíricamente los resultados teóricos y fortalecer la formulación de políticas y estrategias de mejora del servicio de TDT en zonas vulnerables.

Referencias

- (ANE), A. N. (2014). *Plan técnico de televisión (PTTV) para la planeación de frecuencias de TDT*. <https://mintic.gov.co/porta/inicio/6649:ANE-contribuye-con-el-avance-de-la-TDT>
- Acosta Peña, D., Gaona García, E., & Oviedo Perdomo, J. P. (2018). *TDT DVB-T2 signal coverage in rural zones*. *Visión electrónica*. <https://doi.org/10.14483/22484728.18395>
- Acosta, J. A. (2016). *Análisis de la infraestructura implementada para la TDT en Colombia*. Universidad ECCI: <https://repositorio.ecci.edu.co/server/api/core/bitstreams/b1712cab-4b23-46d5-81ad-e95031dc2648/content>
- Agencia Nacional del Espectro. (2025). .ANE publica para comentarios del sector el proyecto normativo que actualiza el Plan Técnico de Televisión (PTTV): <https://www.ane.gov.co/SitePages/det-noticias.aspx?p=751>
- Agencia Nacional del Espectro. (2025). *Manual de gestión nacional del espectro radioeléctrico*. https://www.ane.gov.co/Documentos%20compartidos/ArchivosDescargables/Planeacion/poli-lineamientos-manuales/Manuales/ManualGestionEspectro/Titulo_II.pdf
- Alcaldía de Bogotá. (2020). *Diagnóstico local de Usme caracterización física y demográfica*. https://www.integracionsocial.gov.co/images/_docs/entidad/5_Diagnostico_local_Usme_2021_VF.pdf
- Arzuaga, T. (2019). *Evaluación del impacto del 5G en la banda UHF ocupada por la TDT*. <https://revistas.upb.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/521>
- Belden, I. (2023). *RG-59 coaxial cable technical specifications*. <https://www.belden.com/products/cable/coax-triax-cable/rg59-cable>
- BeldenInc. (2023). *RG-6 coaxial cable technical specifications*. <https://www.belden.com/products/cable/coax-triax-cable/rg6-cable>

- Casanova-Vargas, A., Oviedo-Perdomo, J. P., & Gaona-García, E. (2017). *Influencia del clima andino en la propagación de señales de televisión digital*. .Revista Colombiana de Telecomunicaciones: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/18421>
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (2012). .Resolución 4047 de 2012: https://normograma.mintic.gov.co/mintic/compilacion/docs/resolucion_crc_4047_2012.htm
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (2014). .Condiciones de calidad en la prestación de servicios de televisión en Colombia: https://www.crcom.gov.co/system/files/Proyectos%20Comentarios/8000-2-16A/Propuestas/documento_soporte_calidadtv.pdf
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (2016). *Resolución 5050. Compilación de normas sobre servicios de televisión*. https://normograma.mintic.gov.co/mintic/compilacion/docs/resolucion_crc_5050_2016.htm
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (2024). .Agenda regulatoria 2025-2026: <https://www.crcom.gov.co/sites/default/files/agenda/agenda-regulatoria-2025-2026.pdf>
- Commission, I. E. (2005). *IEC 61196-1: Coaxial communication cables – Part 1: General specification*. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/13558/648fd4cd008b40d0996e4e54a03ad9b3/IEC-61196-1-1-2007.pdf>
- Eduardo Rojas, C. S. (1976). *Toeria de modelos y diseños de una antena Log periodica (Trabajo de grado)*. .Universidad distrital Fenacisco Jose de Caldas:

<https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/b36b6b9d-ac77-49bb-8a65-d7517ceeb065/content>

ETSI. (2015). *EN 302 755 V1.4.1: Frame structure channel coding and modulation for DVB-T2*.

https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302700_302799/302755/01.04.01_60/en_302755v010401p.pdf

Fajardo, L. J. (2000). *Modulación multiportadora OFDM*.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/2699>

Gómez Barquero, D., López Sánchez, J., Cardona Marcet, N., & Gutiérrez M, E. (2014).

Funcionalidades avanzadas de DVB-T2 para el diseño de redes de Televisión Digital Terrestre en Latinoamérica. *19*(2).

https://www.cienciared.com.ar/ra/usr/3/1480/holon19pp61_94.pdf

Gómez, J. C. (2002). *Diseño de antenas Yagi Udausando algoritmos genéticos*.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/2687/3866>

Hranac, R. (2003). *Broadband Library, Relación de error de modulación*.

<https://broadbandlibrary.com/modulation-error-ratio/>

IBK Cables y Sistemas. (2021). *Cables coaxiales y de antena: Especificaciones técnicas y aplicaciones*. <https://ibk-cables.com/productos/cables-coaxiales-antena/>

ITU-R. (2021). *Recomendación P.526-15: Propagation by diffraction*. <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.526-15-201910-I/en>

Kalley. (2020). *Qué es una antena TDT y cómo usarla*. .Artículo divulgativo sobre Televisión Digital Terrestre: <https://www.kalley.com.co/experiencias/tecnologia/antena-tdt-que-es-y-como-usarla>

Koax24. (2024). .Cable coaxial RG59: Información técnica y propiedades.:

<https://www.koax24.de/es/informacion-del-producto/cable-coaxial/koaxialkabel-75-ohm/rg59-ds.html>

Koax24. (s.f.). .Cable coaxial RG11 A/U – ficha técnica: <https://www.koax24.de/es/informacion-del-producto/cable-coaxial/koaxialkabel-75-ohm/rg11-au.html>

Magaña, L. (2003). *Comunicaciones y redes de computadores*. .Problemas y Ejercicios Resueltos
SNR:

https://www.google.com.co/books/edition/Comunicaciones_y_Netdes_de_Computadores/GIP058nlPa4C?hl=es&gbpv=1&dq=relaci%C3%B3n+se%C3%B1al+ruido+snr+SNR+ECUACI%C3%93N&pg=PA6&printsec=frontcover

MinTIC. (2021). .Resolución No. 6333: https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-178526_doc_norma.pdf

MinTIC. (Nov de 2023). *Proyecto de despliegue TDT 2024 - 2026*.

<https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/326195:MinTIC-inicia-el-proceso-para-que-cuatro-millones-de-colombianos-pasen-de-TV-analogica-a-senal-TDT>

MinTIC. (11 de dic de 2024). .Así va la implementación de la estrategia de apoyo a la población del Plan General de Emisiones de la Televisión Analógica.:

<https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/399184:Asi-va-la-implementacion-de-la-estrategia-de-apoyo-a-la-poblacion-del-Plan-General-de-Emisiones-de-la-Television-Analogica>

MinTIC. (2024). *Plan de implementación de la televisión digital terrestre en Colombia*.

<https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/398912:Gobierno->

presenta-Plan-de-Implementacion-de-la-Television-Digital-Terrestre-que-iniciara-operacion-en-marzo-de-2025

Pabón, J. E. (2017). *Antenas TDT JEP (Trabajo de grado)*. .Corporación unificada nacional de educación superior.: <https://repositorio.cun.edu.co/server/api/core/bitstreams/fc2bf637-f241-4bd1-804e-b9a6a2410d62/content>

PROMAX. (2019). *¿Problemas con la TDT? Las causas más impensables de interferencias de televisión*. <https://promax.es/esp/noticias/579/problemas-con-la-tdt-las-causas-mas-impensables-de-interferencias-de-television/>

Quimbiamba, U. (1998). *las antenas direccionales como la Yagi-Uda concentran la energía radiada en una dirección específica, aumentando la ganancia efectiva del sistema*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10301/3/T1323.pdf>

RTVC Sistema de Medios publicos. (2015). *Resoluciones*. .Agencia Nacional del Espectro Resolución 120 - 5 de mayo de 2020. "Por medio de la cual se actualiza el plan técnico nacional de radiodifusión sonora en frecuencia modulada" Resolución 181 - 30 de abril de 2019: <https://www.rtv.gov.co/content/resoluciones>

Silex System & Telecom. (2020). *Cables coaxiales RG Series*. <https://silexst.com/wp-content/uploads/2020/10/Cables-Coaxiales-RG-v04.pdf>

Software, K. (2014). *Cobertura de las regiones de radio y televisión terrestres análogas y digitales*. <https://www.qsl.net/kd2bd/splat-spanish.pdf>

Solís, R. N. (2006). *Comparación de la ganancia y otros parámetros de operación de antenas Yagi*. .Revista Facultad de Ingeniería UNAM: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40470205>

TDT Profesional. (2020). *Antena activa y pasiva (TDT)*.

<https://www.tdtprofesional.com/blog/antena-activa-y-pasiva-tdt/>

Telecom, S. S. (2014). *Cable coaxial RG6 – 90% 5-3000MHZ*.

<https://silexst.com/producto/coaxial-cable-rg6-90-5-3000mhz/>

Tomasi, W. (2015). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*.

https://books.google.com.co/books?id=_2HCio8aZiQC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

TVC en Línea. (2020). *.Diferencia de cables coaxial RG59, RG6 y RG11:*

<https://foro.tvc.mx/docs/diferencias-de-cables-coaxial-rg59-rg6-y-rg11>

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2013). *Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3000 MHz. Recomendación*

UIT-R P.1546-5. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/r-rec-p.1546-5-201309-i!!pdf-s.pdf

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2013). *Recommendation ITU-R P.526-13:*

Propagation by diffraction. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-13-201311-S%21%21PDF-E.pdf

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2019). *.Método de predicción de la propagación punto a zona para servicios terrenales en el rango de frecuencias de 30 MHz a 4 000 MHz*

(Recomendación UIT-R P.1546-6): <https://www.gub.uy/unidad-reguladora-servicios-comunicaciones/sites/unidad-reguladora-servicios-comunicaciones/files/documentos/publicaciones/R-REC-P.1546-6-201908.pdf>

- Union Internacional de Telecomunicaciones. (2022). *Mediciones de la cobertura de la DVB-T/T2 y verificación de los criterios de planificación*. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1875-4-202209-I!!PDF-S.pdf
- Vallejo, L. (2021). *Optimización de la relación C/N en receptores domésticos de baja ganancia*. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistagti/article/view/1359>
- Vázquez, Z. A. (2023). *BIM, un paso en lo académico: Reflexión sobre la implementación de la metodología en el programa de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia*. (U. C. Colombia, Ed.) <https://www.researchgate.net/publication/358243852>
- XIRIO. (2024). *Métodos de cálculo de propagación*. https://www.xirio-online.com/web/help/es/compute_method.htm
- XIRIO. (2024). *REC. UIT-R P.1546*. https://www.xirio-online.com/web/help/es/rec_1546.htm

Apéndices

Apéndice A Algoritmos

Para la simulación se emplearon valores promedio simplificados de atenuación, con fines ilustrativos, los cuales pueden diferir ligeramente de los rangos reportados en fichas técnicas comerciales.

```
% Algoritmo en MATLAB para simular la atenuación de señal TDT

clc;
clear;

% Parámetros de entrada
distancia = 0:5:100; % metros
atenuacion_RG59 = 0.33; % dB/m (más alta)
atenuacion_RG11 = 0.15; % dB/m (más baja)

% Cálculo de pérdida de señal
perdida_RG59 = distancia * atenuacion_RG59;
perdida_RG11 = distancia * atenuacion_RG11;

% Simulación con amplificador de +10 dB
amplificador = 10; % dB
perdida_con_amplificador = perdida_RG11 - amplificador;
perdida_con_amplificador(perdida_con_amplificador < 0) = 0; % no hay señal
negativa

% Gráfica
figure;
```

```
plot(distancia, perdida_RG59, 'r--o', 'DisplayName', 'Cable RG-59');  
hold on;  
plot(distancia, perdida_RG11, 'b-*', 'DisplayName', 'Cable RG-11');  
plot(distancia, perdida_con_amplificador, 'g-.s', 'DisplayName', 'RG-11 +  
Amplificador');  
xlabel('Distancia (m)');  
ylabel('Pérdida de señal (dB)');  
title('Comparación de pérdida de señal según tipo de cable');  
legend;  
grid on;
```