

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN

“ANÁLISIS DE LA DENSIDAD DE POTENCIA DE UN CANAL DE
TELEVISIÓN PARA EVALUAR LA PRESENCIA DE FAST FADING O
SLOW FADING.”

EXAMEN COMPLEXIVO

Previa la Obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR:

LUIS EDUARDO PUERTAS ZAMORA

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año

2024

Declaración Expresa

Yo Luis Eduardo Puertas Zamora acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (ANÁLISIS DE LA DENSIDAD DE POTENCIA DE UN CANAL DE TELEVISIÓN PARA EVALUAR LA PRESENCIA DE FAST FADING O SLOW FADING) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor, existe una innovación potencialmente patentable sobre los

resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 29 de enero del 2025.

Luis Eduardo Puertas Zamora
Autor

Evaluadores

Dr. Francisco Novillo

Evaluador

Dr. Washington Medina

Evaluador

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

RESUMEN	1
ABREVIATURAS	2
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	6
1.2 PROBLEMÁTICAS ESPECÍFICAS A ABORDAR:	6
1.2.1 Consecuencias del Problema:	7
1.3 OBJETIVOS	8
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	8
1.4. MARCO TEÓRICO	8
1.4.1 Canal de Televisión	9
CAPÍTULO II	20
2.1. METODOLOGÍA	20
CAPÍTULO III	26
3. ANALISIS DE RESULTADOS	26
3.1 Resultados	26
3.2 Cálculos matemáticos	26
CAPÍTULO IV	28
4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	28

4.1.1. Conclusiones	28
4.2. Recomendaciones	29
5. ANEXOS.....	35

RESUMEN

El análisis de la densidad de potencia en un canal de televisión permite identificar la presencia de desvanecimientos rápidos (fast fading) o lentos (slow fading), fenómenos que influyen en la calidad de la señal. El fast fading ocurre debido a interferencias por propagación multitrayectoria, causando fluctuaciones rápidas en la intensidad de la señal. Por otro lado, el slow fading se relaciona con obstáculos grandes, como edificios, que generan variaciones más lentas en la señal.

A través de mediciones y análisis estadísticos (con modelos matemáticos Rayleigh o log-normal). Se evalúan los cambios temporales y espaciales de la señal, proporcionando información clave para optimizar el diseño de sistemas de transmisión y recepción en entornos afectados por estos desvanecimientos.

ABREVIATURAS

Tabla 1 Abreviaturas

Abreviatura	Significado
VHF	Muy alta frecuencia
UHF	Frecuencia ultra alta
PSD	Densidad espectral de potencia
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
TDT	Televisión Digital Terrestre
HD	Alta definición
ATSC	Comité de sistemas de televisión avanzados
DVB-T	Transmisión de vídeo digital: terrestre
AM	Amplitud Modulada
FM	Modulación de frecuencia
ISDB-T	Servicios Integrados de Radiodifusión Digital - <u>Terrestria</u>
COFDM	Multiplexación por división de frecuencia ortogonal codificada
8-VSB	Modulación de banda lateral vestigial de 8 niveles
HEVC	Codificación de vídeo de alta eficiencia
SFN	Red de frecuencia única
OFDM	Multiplexación por división de frecuencia ortogonal
FEC	Corrección de errores hacia adelante

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Abreviaturas.....	2
Tabla 2. Comparación de Fast Fading y Slow Fading.....	14

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A.....	35
Anexo B.....	35
Anexo C.....	36
Anexo D.....	36
Anexo E.....	37
Anexo F.....	38
Anexo G.....	38
Anexo H.....	38
Anexo I.....	39
Anexo J.....	40
Anexo K.....	40
Anexo L.....	40
Anexo M.....	41
Anexo N.....	42
Anexo O.....	42
Anexo P.....	43
Anexo Q.....	43
Anexo R.....	44

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La emisión y recepción de señales de televisión están afectadas por las propiedades del canal de propagación, el cual puede experimentar diferentes fenómenos de atenuación y distorsión. Aragón, et., al., (2021) indica que dentro de los principales efectos que afectan la calidad de las señales recibidas destacan el fast fading (desvanecimiento rápido) y el slow fading (desvanecimiento lento), los cuales tienen implicaciones directas en la percepción del usuario final y en el desempeño de los sistemas de comunicación.

El fast fading se caracteriza por rápidas fluctuaciones en la amplitud de la señal, causadas por la interferencia constructiva y destructiva de múltiples trayectorias, un fenómeno conocido como multipath. Este efecto es común en entornos urbanos densos y en escenarios con movilidad. Por otro lado, el slow fading está asociado con variaciones más lentas en la intensidad de la señal, generadas por obstáculos de gran tamaño, como edificios o montañas, que bloquean parcial o totalmente la propagación directa de las ondas. (Aragón, et., al., 2021, p. 4)

En relación a lo antes indicado los autores Aragón, et., al., (2021) señalaron que el estudio de la densidad de potencia del canal de televisión es una herramienta clave para entender estos fenómenos y mejorar tanto el diseño de redes como la calidad del servicio (QoS, por sus siglas en inglés). Este estudio implica la medición y modelado de los niveles de potencia a lo largo del tiempo y el espacio, lo cual permite identificar patrones de atenuación y establecer métricas de desempeño clave.

Aragón, et., al., (2021) en este trabajo se propone una metodología para evaluar la presencia de fast fading y slow fading en señales de televisión, empleando técnicas estadísticas y de procesamiento de señales. Asimismo, se realiza un análisis comparativo de diferentes entornos de propagación, con el objetivo de ilustrar las variaciones en la severidad de estos fenómenos.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema central está en cómo el desvanecimiento y la baja densidad de potencia impactan la cobertura y calidad de los canales de televisión en diversos entornos, como las zonas semirrurales, y en cómo estos fenómenos pueden ser medidos, evaluados y optimizados para mejorar el servicio de televisión terrestre.

1.2 PROBLEMÁTICAS ESPECÍFICAS A ABORDAR:

- **Fading Multipath:** Las señales reflejadas por edificios o montañas pueden interferir con las señales directas, produciendo fluctuaciones en la calidad de la señal que afectan la recepción, lo que se traduce en pérdida temporal de imagen o sonido (Pedraza, et., al., 2011, p. 12).
- **Pérdida de Potencia:** A medida que la señal se propaga a través del espacio, la potencia disminuye, especialmente si existen obstáculos (edificios, árboles, montañas) entre el transmisor y el receptor. Esto puede dar lugar a zonas de cobertura débil o incluso a la falta total de señal en áreas alejadas de las estaciones emisoras. (Pedraza, et., al., 2011, p. 6).
- **Interferencia y Superposición de Canales:** En ciertas áreas, especialmente en zonas urbanas de alta densidad, la gran cantidad de canales o frecuencias adyacentes puede causar interferencias que contribuyen al desvanecimiento y disminuyen la calidad de la señal recibida, incluso cuando la densidad de potencia no es demasiado baja (Wang, et., al., 2010, p. 4).
- **Condiciones Meteorológicas y Atmosféricas:** Elementos como la lluvia, la niebla o los cambios en las condiciones atmosféricas pueden alterar las propiedades de propagación de las ondas de radiofrecuencia, lo que contribuye al desvanecimiento y afecta la densidad de potencia (Zhao, et., al., 2017, p. 4).

1.2.1 Consecuencias del Problema:

- **Disminución de la Calidad de la Señal:** En áreas con fuerte *fading* y baja *densidad de potencia*, los usuarios pueden experimentar pérdida de señal, interrupciones de la imagen o distorsión del sonido. Esto afecta la experiencia del usuario y limita el acceso a la televisión de calidad.
- **Cobertura Inadecuada:** Las zonas semirrurales o alejadas de los centros urbanos son las más afectadas por estos problemas. En estas áreas, la falta de señal adecuada puede llevar a que muchos hogares queden fuera del alcance de las señales de televisión terrestre, obligándolos a recurrir a soluciones más costosas como la televisión satelital.
- **Ineficiencia en la Red de Transmisión:** Si no se optimizan los niveles de potencia y se minimizan los efectos de *fading*, las estaciones de transmisión podrían estar operando de forma ineficiente, desperdiciando energía o no cubriendo adecuadamente todas las áreas previstas.

1.3. Descripción de la Propuesta

En base toda la problemática ante nombrada se propone:

Mediciones de Fading y Densidad de Potencia - Equipos de Medición: Se va utilizara el Spectrum Master MS2713E, 9 kHz to 6 GHz, para realizar las mediciones.

Zonas de Estudio: Se seleccionará en el Campo Gustavo Galindo de la ESPOL considerada una zona semirrural, para estudiar cómo los diferentes entornos afectan a la señal. Las zonas urbanas con edificios altos, áreas montañosas y espacios abiertos serán clave para el análisis.

Frecuencias de Medición: Se medirán las frecuencias correspondientes al canal UHF, con un enfoque particular en aquellos canales que se encuentran en las bandas más frecuentemente utilizadas. (Valle, et., al., 2019, pág. 23)

Condiciones Atmosféricas: Se registrarán las condiciones climáticas (lluvias) durante las mediciones, ya que estos factores también influyen en el fading.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los datos adquiridos de la densidad de potencia de un canal de televisión para evaluar la presencia de fast fading o slow fading, en base a el tiempo de muestreo, el tiempo de coherencia.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir un canal de televisión, calcular el tiempo de muestreo y el tiempo de coherencia.
- Determinar el comportamiento estadístico de la densidad de potencia y graficarla usando la media y la varianza de las señales medidas, para la corrección de la portadora.
- Evaluar el tipo de fading presente en el canal de televisión, analizando las variaciones en la señal a lo largo del tiempo y su impacto en la calidad del servicio.

1.4. MARCO TEÓRICO

Este análisis profundiza en conceptos fundamentales relacionados con la propagación de señales y sus modelos asociados, centrándose en el fenómeno de fading y su impacto en los canales de frecuencia ultra alta (UHF). Se abordan aspectos clave como las características inherentes de los canales UHF, que los hacen particularmente sensibles a los efectos del fading, incluyendo la atenuación y la dispersión de las señales.

Fabara, et., al., (2019) detallan que se presenta una comparación detallada sobre cómo la densidad de potencia puede utilizarse como herramienta para identificar y analizar estos fenómenos. Esta métrica no solo permite cuantificar la energía distribuida en el espectro de frecuencia, sino también identificar patrones de interferencia y fluctuación, proporcionando una perspectiva más precisa sobre las condiciones de propagación dentro de un canal de televisión. La investigación destaca la importancia de estos análisis para optimizar la eficiencia y calidad

de los sistemas de transmisión, especialmente en entornos complicados o con alta densidad urbana.

1.4.1 Canal de Televisión

Según Garg (2010) indica que el canal de televisión es el medio a través del cual se transmite la señal de TV desde el transmisor hasta el receptor. Este canal experimenta diferentes efectos de propagación que influyen en la calidad de la señal recibida, tales como el desvanecimiento rápido (fast fading) y el desvanecimiento lento (slow fading). Analizar estos efectos resulta esencial para asegurar una señal de calidad y un servicio confiable.

Haykin (2008) sostiene que la densidad espectral de potencia (PSD) es una herramienta clave en el análisis y diseño de sistemas de comunicación, particularmente en la transmisión de señales de televisión. En este contexto, se utiliza para caracterizar la distribución de la potencia de la señal en el dominio de la frecuencia, permitiendo optimizar el uso del espectro radioeléctrico y minimizar interferencias entre canales adyacentes.

Características de los Fenómenos de Fading

Proakis, et., al., (2008) señala que los fenómenos de desvanecimiento desempeñan un papel crucial en la calidad de la señal en los sistemas de comunicación, incluyendo los de transmisión televisiva. El desvanecimiento se refiere a las variaciones en la intensidad de la señal causadas por cambios en las condiciones del medio de propagación, lo que puede afectar notablemente la experiencia de visualización, tanto en señales analógicas como digitales.

Definición del Fenómeno de Fading

Proakis, et., al., (2008) mencionan que el fading es un fenómeno que se produce cuando la señal electromagnética que viaja a través de un canal de comunicación se ve afectada por interferencias, obstáculos o cambios en el entorno. Estas interferencias pueden generarse por fenómenos como reflexiones, difracciones o dispersión de las ondas electromagnéticas, lo que produce variaciones en la amplitud y fase de la señal. En el ámbito televisivo, esto puede resultar

en distorsiones en la imagen, disminución de la calidad de recepción o incluso la pérdida completa de la señal.

Tipos de Fading en los Canales de Televisión

Fading Rápido (Fast Fading)

Proakis, et., al., (2008) afirman que este tipo de fading se refiere a las variaciones rápidas de la señal que ocurren cuando el receptor o el transmisor se mueven con alta velocidad a través de un canal. En la televisión, el fading rápido puede generar distorsiones temporales de la imagen, como artefactos visuales o pixelación. Las variaciones en la señal suceden a una frecuencia mucho mayor que el tiempo de procesamiento del receptor, lo que provoca distorsiones que son claramente visibles y de breve duración.

Fading Lento (Slow Fading)

Proakis, et., al., (2007) indica que el fading lento ocurre cuando las variaciones en la señal son más graduales. Este tipo de fading es más común cuando el receptor se encuentra estacionario o se mueve a baja velocidad, en este caso, la calidad de la señal disminuye lentamente debido a factores como la propagación a través de obstáculos grandes, como edificios o montañas, o por condiciones atmosféricas como lluvia, nieve o niebla. Este fenómeno puede resultar en una disminución gradual de la calidad de la imagen en sistemas de televisión, llevando a una pérdida de resolución o a la aparición de líneas y bloques en la pantalla.

Fading Selectivo en Frecuencia

Proakis, et., al., (2008) destaca que el fading multipath es uno de los fenómenos más frecuentes en la propagación de señales en zonas urbanas o de alta densidad, donde las señales de radio se reflejan en edificios, vehículos y otros elementos. Estas señales reflejadas llegan al receptor en diferentes momentos, lo que causa interferencias constructivas y destructivas. En la televisión, esto puede resultar en fantasmas (imágenes duplicadas de la señal), especialmente

en las transmisiones de televisión analógica, o en interrupciones y pixelación en las señales digitales.

Causas del Fading en los Canales de Televisión

Las principales causas del fading en los canales de televisión incluyen:

Multipath (Multipath Propagation): Proakis, et., al., (2007) indica que la propagación multipath se produce cuando las ondas de radio viajan a través de diferentes rutas hasta llegar al receptor. Las ondas reflejadas, difractadas o dispersas pueden llegar con un desfase temporal que puede amplificar o atenuar la señal.

Obstáculos Físicos: Proakis, et., al., (2007) indican que la presencia de edificios, árboles, montañas u otros obstáculos físicos bloquea la señal directa y crea rutas alternativas a través de las cuales la señal viaja. Estas obstrucciones generan sombras de la señal o interferencias que afectan su calidad.

Condiciones Atmosféricas: Proakis, et., al., (2007) condiciones como la lluvia, la nieve o la niebla tienen la capacidad de reducir la intensidad de la señal, especialmente en frecuencias elevadas. Estos efectos son más notables en las transmisiones de televisión en frecuencias de microondas y ondas milimétricas.

Movimiento Relativo: Proakis, et., al., (2007) El movimiento de las estaciones base, transmisores, o receptores, ya sea debido al desplazamiento de los observadores o de los vehículos, puede provocar un desajuste temporal entre las señales, lo que da lugar a fluctuaciones rápidas en la intensidad de la señal.

Impacto del Fading en la Calidad de la Señal de Televisión

El fading tiene efectos notables en los sistemas de televisión:

En la televisión analógica: Proakis, et., al., (2007) El fading genera efectos visuales como ruido (interferencias visibles), líneas horizontales o imágenes duplicadas causadas por la interferencia de varias trayectorias de la señal.

En la televisión digital: Proakis, et., al., (2007) El fading puede causar pixelación, donde la imagen se distorsiona en bloques, o pérdida de señal, lo que resulta en interrupciones o en la total ausencia de imagen y sonido. El desvanecimiento puede ocasionar la desincronización de la señal en los sistemas de televisión digital, lo que impacta la continuidad de la transmisión y la calidad del servicio.

Técnicas para Mitigar el Fading en los Canales de Televisión

Para reducir el impacto del fading, se utilizan varias técnicas en los sistemas de televisión, tanto analógicos como digitales:

Diversidad de Antenas: Proakis, et., al., (2007) El uso de múltiples antenas para recibir señales de diferentes trayectorias ayuda a mejorar la calidad de la señal. La combinación de las señales de diferentes antenas permite reducir los efectos del fading multipath y mejorar la confiabilidad de la recepción.

Aumento de Potencia de Transmisión: Proakis, et., al., (2007) Para superar la atenuación causada por el fading, los transmisores pueden aumentar su potencia. Sin embargo, esto puede ser costoso y puede causar interferencia con otros canales de transmisión.

Modulación y Codificación Robusta: Proakis, et., al., (2007) Las técnicas de modulación como OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) y la corrección de

errores mediante códigos de FEC (Forward Error Correction) son muy eficaces para mitigar los efectos del fading en la televisión digital. Estas técnicas distribuyen los datos sobre múltiples frecuencias y proporcionan redundancia para reconstruir la información perdida.

Uso de Bandas de Frecuencia más Bajos: Proakis, et., al., (2007) Las señales a frecuencias más bajas son menos susceptibles a la atenuación debido a obstáculos y condiciones atmosféricas, por lo que se prefieren en algunos sistemas de transmisión televisiva.

Modelos Matemáticos del Fading

Para comprender mejor el fading y sus efectos, se utilizan modelos matemáticos:

Modelo de Rayleigh: Proakis, et., al., (2007) Este modelo es adecuado para situaciones en las que no hay línea de visión directa entre el transmisor y el receptor, y las señales llegan a través de múltiples trayectorias reflejadas. Es útil para representar las condiciones urbanas.

Modelo de Rician: Proakis, et., al., (2007) Este modelo es más apropiado cuando hay una línea de visión dominante, pero las señales reflejadas también contribuyen al fading. Este modelo es útil en situaciones rurales o suburbanas donde hay una transmisión directa predominante.

Evaluación del Fast Fading y Slow Fading con PSD

Proakis, et., al., (2007) En el campo de las telecomunicaciones, el fenómeno del desvanecimiento (“fading”) es un factor crucial que afecta la propagación de señales en entornos móviles. Este fenómeno se debe a la interacción de las ondas electromagnéticas con diferentes obstáculos y al movimiento relativo entre el transmisor y el receptor. Dependiendo de la escala temporal y espacial de estas variaciones, el desvanecimiento se clasifica en dos tipos principales: Fast Fading (desvanecimiento rápido) y Slow Fading (desvanecimiento lento).

Caracterización de Fast Fading mediante PSD

Proakis, et., al., (2007) La PSD del Fast Fading refleja la distribución frecuencial de la energía de las componentes múltiples. En general, se utiliza la PSD de Jakes, que muestra un espectro en forma de campana con una frecuencia máxima de desvanecimiento.

Caracterización de Slow Fading mediante PSD

Molisch (2010) indica que aunque la PSD no se emplea tan comúnmente para describir el Slow Fading como para el Fast Fading, proporciona información sobre las fluctuaciones de largo plazo de la señal y puede analizarse en dominios frecuenciales para evaluar su impacto en sistemas de comunicación.

Tabla 2.

Comparación de Fast Fading y Slow Fading

Característica	Fast Fading	Slow Fading
Escala temporal	Corto plazo	Largo plazo
Causa principal	Multipath	Obstrucciones
Distribución común	Rayleigh o Rice	Lognormal
Análisis en frecuencias	PSD con espectro de Jakes	PSD menos común
Entorno típico	Zonas urbanas, alta movilidad	Zonas rurales, baja movilidad

Elaborado por: El autor

Canal UHF en Televisión

Arcotel (2023) indica que los canales UHF (Ultra High Frequency) son bandas de frecuencia utilizadas en la transmisión de señales de televisión, que abarcan desde los 300 MHz hasta los 3 GHz en el espectro electromagnético. En televisión, específicamente, los canales UHF se encuentran en el rango de 470 MHz a 806 MHz (en algunos países extendido hasta 890 MHz), dependiendo de las regulaciones locales y la tecnología utilizada.

Según Arcotel (2020) menciona que cada canal UHF tiene un ancho de banda de 6 MHz en sistemas como NTSC y ATSC (en las Américas) o de 8 MHz en otros casos. en sistemas

como DVB-T e ISDB-T (Europa, Asia y América Latina) (ITU, 2019; Federal Communications Commission, 2022; Stutzman y Thiele, 2012; ARCOTEL, 2023). En Ecuador, el canal UHF ha sido fundamental para la televisión analógica y digital terrestre (TDT).

Este rango de frecuencias permite la transmisión de señales de alta calidad, pero su rendimiento está condicionado por características geográficas, técnicas y regulatorias propias del país.

Arcotel (2020) menciona que en Ecuador, la adopción de la Televisión Digital Terrestre (TDT) ha optimizado el uso del espectro UHF, permitiendo la transmisión de varios canales en una misma banda, mejorando la calidad de la imagen y el sonido, e incorporando servicios adicionales..

Características de la Banda UHF

- Frecuencias más altas: Los canales UHF operan en frecuencias superiores a las de la banda VHF, lo que proporciona mayor capacidad de transmisión de datos y mejor calidad de señal. (Molisch, 2010, p. 112)
- Ancho de banda amplio: Los canales en la banda UHF generalmente tienen un ancho de banda de 6 MHz, 7 MHz o 8 MHz, según el estándar regional (Molisch, 2010, p. 112).
- Antenas compactas: Debido a las longitudes de onda más cortas asociadas a las frecuencias UHF, las antenas necesarias son más pequeñas y fáciles de instalar. (Molisch, 2010, p. 112)
- Mayor capacidad para transmisiones digitales: La banda UHF es ideal para soportar tecnologías de televisión digital y de alta definición (HD), gracias a su capacidad para transmitir múltiples servicios en un solo canal (multiplexación). (Molisch, 2010, p. 112)

Uso de UHF en Televisión Analógica y Digital

La evolución de la tecnología de transmisión televisiva ha transformado la forma en que se utiliza la banda UHF:

Televisión Analógica:

Cada canal transmitía una única señal de video y audio analógico mediante técnicas como la modulación AM para video y FM para audio. Proakis, et., al., (2008) indica que la calidad de la transmisión era susceptible a interferencias y desvanecimientos.

Televisión Digital:

Los estándares modernos (ATSC, DVB-T, ISDB-T) utilizan modulación digital, como COFDM o 8-VSB, que es más eficiente y resistente a interferencias.

La multiplexación permite incluir múltiples servicios (canales de TV, datos, audio) dentro de un solo canal de 6, 7 o 8 MHz.

Propiedades del Canal UHF en Televisión

Cobertura Local y Regional: Las señales UHF tienen un alcance limitado debido a su propagación principalmente por línea de vista (LOS). Esto las hace adecuadas para transmisiones locales o regionales, particularmente en áreas densamente pobladas como Quito, Guayaquil y Cuenca. (Arcotel, 2020)

Penetración de Obstáculos: Las frecuencias UHF pueden atravesar estructuras como paredes y techos, aunque con atenuaciones significativas, lo cual es relevante en áreas urbanas. (Arcotel, 2020)

Ancho de Banda: En televisión analógica, cada canal UHF utiliza 6 MHz de ancho de banda; en televisión digital, la misma banda puede transportar múltiples señales gracias a la multiplexación. (Arcotel, 2020)

Uso del Canal UHF en Ecuador

Regulación del Espectro

Según Arcotel (2020), la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) es la responsable de la gestión del espectro radioeléctrico en Ecuador. El rango

UHF asignado para la televisión terrestre va de 470 MHz a 698 MHz, distribuido en bloques de 6 MHz para cada canal.

1. Televisión Analógica:

Ecuador ha utilizado el sistema NTSC para televisión analógica, que opera en el rango UHF hasta la transición a la TDT (Arcotel, 2020).

2. Televisión Digital Terrestre (TDT):

En 2010, Ecuador adoptó el estándar ISDB-Tb (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial, versión brasileña) (Arcotel, 2020). Este estándar permite:

- Mejor calidad de transmisión.
- Mayor eficiencia espectral.
- Recepción móvil de señales.

Características del Canal UHF en el Contexto Ecuatoriano

Geografía y Propagación

1. Entorno Urbano:

En ciudades como Quito y Guayaquil, la señal UHF enfrenta desafíos como interferencias y pérdida de señal debido a edificios y otras estructuras (Arcotel, 2020).

2 Entorno Rural:

Las zonas rurales, especialmente en la región amazónica y los Andes, presentan problemas de cobertura debido al terreno montañoso, lo que requiere repetidoras y estaciones adicionales para garantizar la recepción (Arcotel, 2020).

Interferencia

- 1. Interferencia Co-canal:** Puede ocurrir en áreas donde los mismos canales UHF son asignados a diferentes ciudades cercanas (Arcotel, 2020).

2. **Interferencia Intercanal:** En la televisión digital, este tipo de interferencia es mitigado gracias a la robustez del estándar ISDB-Tb (Arcotel, 2020).

Beneficios del Canal UHF en TDT

1. **Optimización del Espectro:** La TDT permite la multiplexación, es decir, transmitir varios canales en una misma banda de 6 MHz. (Goldsmisth, 2005)
2. **Calidad de Transmisión:** La TDT mejora la calidad de imagen (HD) y sonido, superando las limitaciones de la televisión analógica. (Goldsmisth, 2005)
3. **Movilidad:** El estándar ISDB-Tb permite que los ecuatorianos reciban señal en dispositivos móviles como teléfonos y tablets. (Goldsmisth, 2005)

Retos del Canal UHF en Televisión en Ecuador

1. **Cobertura Rural:** A pesar de los avances, muchas zonas rurales todavía tienen dificultades para acceder a la señal de televisión digital (Arcotel, 2020).
2. **Acceso a Equipos:** La población necesita televisores compatibles o decodificadores para recibir la TDT, lo que implica un costo adicional para las familias (Arcotel, 2020).
3. **Educación y Concientización:** La transición de analógico a digital requiere campañas educativas para garantizar que los ciudadanos comprendan los beneficios y adopten la tecnología (Arcotel, 2020).

Ventajas del UHF

1. **Cobertura efectiva en áreas urbanas:** Las frecuencias UHF tienen longitudes de onda más cortas que las VHF, lo que permite un mejor desempeño en ambientes urbanos donde las señales deben atravesar obstáculos como edificios y árboles. (Arcotel, 2023)
2. **Capacidad de transporte de datos:** Gracias a su mayor rango de frecuencias disponibles, los canales UHF pueden manejar señales de alta definición (HD) y datos adicionales en sistemas de televisión digital. (Arcotel, 2023)
3. **Antenado compacto:** Las longitudes de onda más cortas permiten el uso de antenas más pequeñas y eficientes, tanto para la transmisión como para la recepción. (Arcotel, 2023)

Desventajas del UHF

- 1. Mayor atenuación:** Las señales UHF sufren una mayor atenuación debido a su mayor frecuencia, lo que puede limitar su alcance en áreas rurales o en condiciones de propagación desfavorables. (Federal Communications Commission, 2022)
- 2. Sensibilidad al clima:** Son más propensas a interferencias por condiciones climáticas adversas, como lluvia intensa. (Federal Communications Commission, 2022)

Aplicaciones en Televisión

- **Televisión analógica:** Los canales UHF se usaban para transmitir señales analógicas de televisión debido a la amplia cantidad de espectro disponible para su asignación (Federal Communications Commission, 2022).
- **Televisión digital:** En la actualidad, los canales UHF son ampliamente utilizados para la transmisión digital, ofreciendo mayor capacidad para contenidos HD, subcanales y servicios interactivos. (Federal Communications Commission, 2022)
- **Dividendo digital:** En algunos países, parte del espectro UHF ha sido reasignado para servicios de banda ancha móvil, dejando menos espacio para la televisión terrestre. (Federal Communications Commission, 2022)

Normas y Regulaciones

El uso de los canales UHF está regulado por organismos internacionales como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y, a nivel nacional, por entidades como la FCC en Estados Unidos o la ARCOTEL en Ecuador. Estas organizaciones definen parámetros técnicos

para prevenir interferencias entre servicios y asegurar una gestión eficiente del espectro (Arcotel, 2023).

CAPÍTULO II

2.1. METODOLOGÍA

Se implementó una metodología de enfoque cuantitativo y experimental, diseñada para evaluar de manera precisa variables relevantes en el análisis de señales, como la potencia y la frecuencia. Esta metodología combina la recolección de datos empíricos mediante equipos de alta precisión con cálculos matemáticos para interpretar y modelar los fenómenos observados.

La medición se realizó con un analizador de espectro Anritsu MS2713E, conocido por su habilidad para capturar señales con alta resolución en entornos controlados y específicos.

Este dispositivo fue configurado para operar dentro del Campo Gustavo Galindo de la ESPOL, donde se realizaron mediciones detalladas de la potencia recibida de la señal en la banda de 197.75 MHz. La selección de este entorno responde a las características del área, como su diversidad en condiciones de propagación y la posibilidad de evaluar diferentes escenarios que afectan la calidad de la señal.

El uso del analizador permitió identificar con precisión variaciones en la densidad espectral de potencia, cruciales para determinar la presencia de fenómenos como desvanecimientos rápidos (fast fading) o desvanecimientos lentos (slow fading).

La recolección de estos datos se realizó siguiendo las directrices establecidas en el reglamento de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), que regula el uso de las bandas de frecuencia, incluida la de 197.75 MHz, garantizando que las mediciones cumplieran con los estándares técnicos y normativos necesarios.

Esta combinación de herramientas avanzadas y un marco normativo claro permitió obtener datos confiables que sirven como base para un análisis detallado del comportamiento

de la señal en condiciones reales, contribuyendo al estudio de la eficiencia espectral y la calidad de servicio en sistemas de transmisión de televisión.

Analizador de espectro ANRITSU MS2713E

Los Spectrum Master MS2713E son equipos de prueba multifuncionales integrados. Instrumentos que eliminan la necesidad de llevar y aprender múltiples conjuntos de pruebas. El espectro Master se puede configurar para incluir: analizador de espectro, analizador de interferencias con capacidades de mapeo de interferencias, mapeo de cobertura, escáner de canales, barrido controlado, generador de seguimiento, medidor de potencia, medidor de potencia de alta precisión y analizador AM/FM/PM. (Aalyzer, 2023, p. 12).

Además, el Spectrum Master se puede configurar para incluir 3GPP, 3GPP2, IEEE 802.16.

Analizador ISDB-T y PIM. Se puede agregar un receptor GPS al MS2713E al modelo Spectrum Master. (Aalyzer, 2023, p. 12)

La brillante pantalla TFT a color de 8,4 pulgadas proporciona una fácil visualización en una variedad de condiciones de iluminación. (Aalyzer, 2023, p. 12)

Todos los modelos Spectrum Master están equipados con una batería de iones de litio que ofrece más de tres horas de duración de la batería. (Aalyzer, 2023, p. 12)

La combinación de una pantalla táctil y un teclado permite a los usuarios navegar por los menús con el toque la pantalla e ingrese números con el teclado. (Aalyzer, 2023, p. 12)

La memoria interna es lo suficientemente grande como para almacenar aproximadamente 2000 trazas o configuraciones. (Aalyzer, 2023, p. 12)

Las mediciones y configuraciones también se pueden almacenar en un dispositivo de memoria USB o transferir a una PC utilizando el cable USB incluido. (Aalyzer, 2023, p. 12)

Descripción del ANRITSU MS2713E

Rango de frecuencia: 9 kHz a 6 GHz (Anritsu, s.f.)

Características del ANRITSU MS2713E

El Spectrum Master MS2713E fue creado para resistir las condiciones más exigentes de campo, lo que le permite monitorear, localizar, identificar y analizar diversas señales como los celulares 2G/3G/4G, de radio móvil terrestre, Wi-Fi y de transmisión. Este dispositivo multifuncional elimina la necesidad de aprender a manejar múltiples equipos y transportarlos para localizar e identificar señales en amplios rangos de frecuencia (Anritsu, s.f.).

Python

Desarrollado por Guido van Rossum en 1991, Python es un lenguaje de programación de alto nivel que fue diseñado para ser fácil de aprender, legible y simple, enfocándose en la productividad del programador y en un código claro. (Van Rossum, s.f.)

Principales hitos en la historia de Python:

Origen y creación (1980-1991):

1. Guido Van Rossum comenzó a trabajar en Python en la década de 1980 mientras trabajaba en el Centro para Matemáticas y Ciencias de la Computación (CWI) en los Países Bajos (Van Rossum, s.f.).
2. Python fue inspirado por dos lenguajes principales: ABC, que también se desarrolló en el CWI, y Modula-3. De ABC, Python heredó la sencillez y el enfoque en la facilidad de uso (Peters, 2004; Mark, 1996).
3. Van Rossum inició Python como un proyecto paralelo durante las vacaciones de Navidad de 1989. Lo nombró "Python" en honor al grupo de comedia británico *Monty Python's Flying Circus*, no por la serpiente (Van Rossum, s.f.).

Primera versión (1991):

- Python 1.0 se lanzó en febrero de 1991.
- Las principales características incluían la gestión de excepciones, funciones, módulos y tipos de datos como listas y cadenas.

Python 2.x (2000):

- Python 2.0 fue lanzado en octubre de 2000. Introdujo características importantes como la recolección de basura basada en el conteo de referencias y las listas por comprensión. (Van Rossum, s.f.)
- Sin embargo, la serie 2.x no era completamente compatible con Python 3, lo que más tarde condujo a un proceso de transición largo y complejo. (Van Rossum, s.f.)

Python 3.x (2008):

Python 3.0 fue lanzado en diciembre de 2008. Fue una reescritura importante destinada a corregir las inconsistencias y errores de diseño en Python 2 (Van Rossum, s.f.; Peters, 2004).

Aunque no era compatible con versiones anteriores, Python 3 se diseñó para ser más limpio y eficiente, con mejoras en el manejo de cadenas Unicode, una nueva sintaxis de división, y cambios en las funciones integradas (Van Rossum, s.f.; Mark, 1996; Peters, 2004).

Python 3.x (2008):

- Python 3.0 fue lanzado en diciembre de 2008. Fue una reescritura importante destinada a corregir las inconsistencias y errores de diseño en Python 2. (Van Rossum, s.f.; Python Software Foundation, s.f.)
- Aunque no era compatible con versiones anteriores, Python 3 se diseñó para ser más limpio y eficiente, con mejoras en el manejo de cadenas Unicode, una nueva sintaxis de división, y cambios en las funciones integradas (Van Rossum, s.f.; Python Software Foundation, s.f.).

Popularidad y uso generalizado (2010-presente):

- En la última década, Python ha crecido exponencialmente en popularidad. Su sencillez y versatilidad lo han convertido en uno de los lenguajes más utilizados en áreas como desarrollo web, ciencia de datos, aprendizaje automático, inteligencia artificial, automatización, y más (Van Rossum, s.f.; Python Software Foundation, s.f.).
- En 2020, Python 2 llegó oficialmente al final de su vida útil, consolidando Python 3 como el estándar (Van Rossum, s.f.; Sweigart, 2015).

Popularidad y uso generalizado (2010-presente):

- En los últimos diez años, Python ha experimentado un crecimiento significativo en popularidad. Su facilidad de uso y flexibilidad lo han establecido como uno de los lenguajes más empleados en campos como el desarrollo web, la ciencia de datos, el aprendizaje automático, la inteligencia artificial, la automatización, entre otros (Van Rossum, s.f.; Sweigart, 2015; Mark, 1996).
- En 2020, Python 2 llegó oficialmente al término de su vida útil, lo que consolidó a Python 3 como el estándar (Van Rossum, s.f.; Mark, 1996; Peters, 2004).

Filosofía de Python

La filosofía de diseño de Python se refleja en "The Zen of Python", un conjunto de principios escritos por Peters (2004). Algunos de estos principios son:

- La legibilidad cuenta.
- Lo explícito es mejor que lo implícito.
- La simplicidad es mejor que la complejidad.

Principales funcionalidades del código:

1. **Carga de Datos:** La función `load_data` se encarga de leer un archivo CSV y extraer las columnas de frecuencia y potencia. Devuelve estos datos como arrays de NumPy. En este caso, se espera que el archivo contenga columnas tituladas "Frecuencia" y "Potencia".
2. **Obtención de Parámetros de Frecuencia:** La función `get_frequency_parameters` devuelve la frecuencia y el nombre de la señal según el tipo de señal especificado (FM,

TV o GSM). Si se proporciona un tipo de señal no válido, se lanza una excepción ValueError.

3. **Cálculo del Tiempo de Coherencia:** La función `calculate_coherence_time` calcula el tiempo de coherencia utilizando tres métodos diferentes basados en la frecuencia Doppler máxima (f_m), que se calcula en la función `main`.
4. **Análisis del Tipo de Desvanecimiento:** La función `analyze_fading` determina si el canal presenta un desvanecimiento rápido o lento comparando el tiempo de coherencia (T_c) con el tiempo de muestreo (T_s).
5. **Cálculo de Estadísticas de Potencia:** La función `calculate_power_density` calcula la potencia media y la varianza de las muestras de potencia, proporcionando información sobre la estabilidad de la señal.
6. **Visualización de Resultados:** La función `plot_results` genera un gráfico que muestra la potencia de la señal en función de la frecuencia, incluyendo una línea que indica la potencia media. Este gráfico se guarda como una imagen PNG.
7. **Ejecución del Análisis:** La función `main` orquesta todo el proceso: carga los datos, calcula el tiempo de muestreo, obtiene los parámetros de frecuencia según el tipo de señal, calcula la frecuencia Doppler máxima, calcula el tiempo de coherencia, analiza el tipo de desvanecimiento, calcula las estadísticas de potencia y finalmente grafica los resultados.

CAPÍTULO III

3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 Resultados

Analizando la señal de TV Análoga en 197,75 MHz

3.2 Cálculos matemáticos

Tomando como referencia las fórmulas y principios desarrollados en el libro *Fundamentals of Wireless Communication Engineering Technologies* (Wong, 2012), ya que este texto constituye una fuente sólida y reconocida en el campo de las comunicaciones inalámbricas. Estas fórmulas proporcionan el marco teórico necesario para analizar de manera rigurosa los fenómenos de propagación y *fading*, permitiendo una comprensión más detallada de las interacciones entre las señales y su entorno. Su aplicación nos brinda la base para respaldar los resultados obtenidos y asegurar la validez científica de nuestro enfoque.

Para este análisis, utilizaremos la fórmula del tiempo de coherencia, representada por la Ecuación 1 (Wong, 2012), debido a su relevancia en la caracterización de las propiedades temporales de los canales de comunicación inalámbrica. Esta ecuación nos permite estimar el intervalo de tiempo durante el cual las características del canal permanecen prácticamente constantes, un aspecto crucial para evaluar el impacto del *fading* en señales móviles o sujetas a cambios rápidos en el entorno. Al emplear esta fórmula, fundamentamos nuestro enfoque en un marco matemático sólido que facilita una interpretación precisa de los fenómenos dinámicos asociados con la propagación de las señales.

Como se observa en la siguiente ecuación ante mencionada del libro nombrado:

$$T_c = \frac{1}{f_m} \text{ o } T_c = \frac{9}{16\pi f_m} \text{ o } T_c = \sqrt{\frac{9}{16\pi f_m}} = \frac{0.423}{f_m} \quad (1)$$

Para cada una se utilizador de diferente formularias explicar las formularias

- Tiempo de Coherencia (Método 1): 0.091024 s
- Tiempo de Coherencia (Método 2): 0.016298 s
- Tiempo de Coherencia (Método 3): 0.038503 s

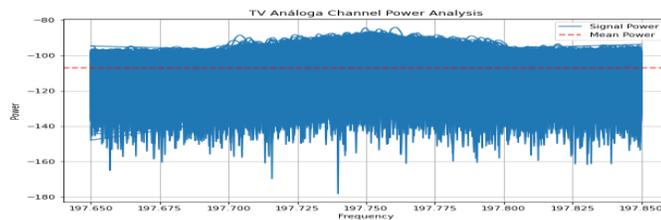
Se determinó que el tipo de fading es Fast Fading

$T_c = 0.038503$ s, $T_s = 2754.820937$ s

Análisis de potencia:

Mean Power: -106.96 dBm

Varianza: 35.11



Análisis de Resultados:

TV Análoga (197.75 MHz):

- Varianza moderada (35.11)
- Potencia media más baja (-106.96 dBm)
- Tiempo de coherencia intermedio (0.038503s)

Patrones y Anomalías:

- Todas las señales presentan fast fading ($T_c < T_s$)

La varianza disminuye a medida que aumenta la frecuencia

Las gráficas muestran diferentes patrones de distribución de potencia:

- TV: forma de campana más definida

CAPÍTULO IV

4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.1. Conclusiones

El estudio de la densidad de potencia de un canal de televisión analógica en la frecuencia de 197.75 MHz, llevado a cabo con el analizador de espectro Anritsu MS2713E en el Campo Gustavo Galindo de la ESPOL, facilitó la identificación y caracterización de fenómenos de fast fading y slow fading en un entorno real.

1. **Fast fading:**

Se detectaron fluctuaciones rápidas en la potencia de la señal, causadas por interferencias multipath debido a la interacción entre la señal directa y las señales reflejadas en superficies como edificaciones, estructuras metálicas y el terreno. Estas variaciones rápidas son características de entornos urbanos o semiurbanos y afectan la estabilidad de la señal recibida.

2. **Slow fading:**

Cambios más lentos y graduales en la potencia promedio fueron observados, asociados con obstrucciones grandes y variaciones en la topografía, como la presencia de edificios, árboles y otras barreras físicas. Este tipo de desvanecimiento se presenta típicamente cuando el receptor se encuentra en movimiento o cuando existen cambios en las condiciones de propagación a escala macroscópica.

3. **Impacto del entorno:**

El entorno del Campo Gustavo Galindo mostró una influencia significativa en la calidad de la señal analizada. Las áreas abiertas presentaron una propagación más estable, mientras que las zonas con obstáculos físicos o variabilidad en el terreno presentaron mayores niveles de desvanecimiento, especialmente en términos de fast fading.

4. Evaluación de herramientas y metodología:

El analizador de espectro Anritsu MS2713E demostró ser un instrumento eficiente y confiable para capturar datos de densidad espectral de potencia en la banda de 197.75 MHz. Su alta resolución permitió identificar tanto las fluctuaciones rápidas como las graduales en la potencia de la señal, proporcionando datos valiosos para el análisis.

5. Conclusión general:

La señal de televisión analógica en la frecuencia analizada es altamente susceptible a los efectos del fading, lo que afecta su estabilidad y calidad. Este comportamiento resalta la necesidad de diseñar estrategias de mitigación, como el uso de técnicas avanzadas de modulación, para garantizar la eficiencia y calidad de las comunicaciones en entornos reales.

El estudio sirve como base para futuros análisis comparativos con tecnologías de televisión digital, donde los sistemas modernos buscan minimizar estos efectos a través de técnicas de codificación y modulación más robustas.

4.2. Recomendaciones

1. Ampliar el alcance temporal y espacial: Realizar mediciones en distintos horarios, condiciones climáticas y ubicaciones dentro del Campo Gustavo Galindo para obtener resultados más representativos.
2. Comparar con otras frecuencias y tecnologías: Analizar bandas adicionales y señales digitales para evaluar diferencias en la sensibilidad al fading.
3. Pruebas dinámicas: Incorporar mediciones en movimiento para simular escenarios reales de recepción móvil.
4. Usar herramientas de simulación: Complementar las mediciones experimentales con simulaciones para modelar y predecir el comportamiento del canal.
5. Probar técnicas de mitigación: Explorar soluciones como diversidad espacial o ecualización para reducir los efectos del fading.

6. Capacitación y optimización: Capacitar al personal en el uso avanzado del Anritsu MS2713E y en metodologías de análisis normadas por organismos internacionales.
7. Publicación de resultados: Documentar y compartir los hallazgos para contribuir al desarrollo de investigaciones en propagación de señales y comunicaciones inalámbricas

BIBLIOGRAFÍA

- Aalyzer H. (2023). *Guía del usuario Spectrum Master™ MS271xE*. USA: Morgan Hill. Obtenido de <https://dl.cdn-anritsu.com/en-us/test-measurement/files/Manuals/Users-Guide/10580-00251AD.pdf>
- Anritsu. (s.f.). *Spectrum Master Handheld Spectrum Analyzer*. Obtenido de Anritsu: <https://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/products/ms2713e#section1-item3>
- Aragón A, Angueira P, Montalban J, Vargas C. (2021). Radio Propagation in Terrestrial Broadcasting Television Systems: A Comprehensive Survey. *IEEE Access*, 9(3), 4. doi:34789-34817. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3061034
- Arcotel. (2020). *Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones*. Obtenido de Arcotel: <https://www.arcotel.gob.ec/>
- Arcotel. (2023). *Reglamento Técnico de Telecomunicaciones para la Televisión Abierta en Ecuador*. Obtenido de Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones: <https://www.arcotel.gob.ec/>
- Fabara C, Maldonado D, Soria M, Tovar A. (2019). Predicción de la generación para un sistema fotovoltaico mediante la aplicación de técnicas de Minería de datos. *Revista Técnica de Energía*, 16(1), 8. doi:<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n1.2019.337>
- Federal Communications Commission. (2022). *The Public and Broadcasting*. Obtenido de FCC: <https://www.fcc.gov/media/radio/public-and-broadcasting>
- Garg V. (2010). *Wireless Communications and Networking*. Amsterdam: Morgan Kaufmann Publishers. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=UE2wEc9NfB8C&oi=fnd&pg=PP1&dq=WIRELESS+COMMUNICATIONS+AND+NETWORKING&ots=pG_4ip8rGh&sig=z4jYv7tegJ3Ef32h8XUQUTHW15o#v=onepage&q=WIRELESS%20COMMUNICATIONS%20AND%20NETWORKING&f=false
- Goldsmith A. (2005). *Wireless Communications*. (C. U. Press, Ed.) Cambridge, Inglaterra: 1st ed. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=n-3ZZ9i0s-cC&oi=fnd&pg=PR17&dq=Goldsmith,+A.+\(2005\).+Wireless+Communications+\(1st](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=n-3ZZ9i0s-cC&oi=fnd&pg=PR17&dq=Goldsmith,+A.+(2005).+Wireless+Communications+(1st)

- +ed.).+Cambridge+University+Press&ots=ABXJNzlea9&sig=USLdTpf1X9Sy94DN
PdFP3Qx7ZY#v=onepage&q=Goldsmith%2C%20A.%20(2005).%20Wire
- Haykin S. (2008). *Communication Systems* (4th Edition ed.). New York, USA: John Wiley & Sons, Inc. Obtenido de <https://ggnindia.dronacharya.info/Downloads/Sub-info/RelatedBook/4thSem/Communication-System-text-book-6.pdf>
- ITU. (2019). *Radio Regulations*. Obtenido de ITU: <https://www.itu.int/pub/R-REG-RR>
- ITU. (2024). *P.525 : Cálculo de la atenuación en el espacio libre*. Obtenido de ITU: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.525-5-202411-I/es>
- Jakes, W. C. (1974). *Microwave Mobile Communications*. Wiley-IEEE Press. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?bknumber=5263365>
- Mark, L. (1996). *Programming Python* (Segunda Edición ed.). (L. Lewin, & F. Willison , Edits.) United States of America: O'Reilly & Associates. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=c8pV-TzyfBUC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- MINTEL. (s.f.). *Ecuatorianos deben adquirir televisores con estándar ISDBT-TB*. Obtenido de Telecomunicaciones: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuatorianos-deben-adquirir-televisores-con-estandar-isdbt-tb/>
- Molisch A. (2010). *Wireless Communications*. California , USA: IEEE. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=877tFGeQo5oC&oi=fnd&pg=PR23&dq=Molisch,+A.+F.+\(2010\).+Wireless+Communications.+Wiley-IEEE+Press&ots=FLO3Fo4Nxw&sig=BlpzFpZRUQZ30P3WMJBp7DMQq0E#v=onepage&q=Molisch%2C%20A.%20F.%20\(2010\).%20Wireless%20Communica](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=877tFGeQo5oC&oi=fnd&pg=PR23&dq=Molisch,+A.+F.+(2010).+Wireless+Communications.+Wiley-IEEE+Press&ots=FLO3Fo4Nxw&sig=BlpzFpZRUQZ30P3WMJBp7DMQq0E#v=onepage&q=Molisch%2C%20A.%20F.%20(2010).%20Wireless%20Communica)
- Molisch, A. F. (2011). *Wireless Communications*. USA: Wiley-IEEE Press. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?bknumber=5635423>
- Pedraza L, Hernández C, Ballesteros D. (2011). Modelo del desvanecimiento selectivo en frecuencia. *Revista Facultar de Ingeniería Universidad de Antioquia*(58), 4. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302011000200012

- Peters, T. (2004). *PEP 20 – The Zen of Python*. Obtenido de Peps: <https://peps.python.org/pep-0020/>
- Proakis, J. G., & Salehi, M. (2007). *Digital Communications*. New York, USA: McGraw-Hill. Obtenido de <https://thuvienso.hoasen.edu.vn/handle/123456789/10005>
- Proakis, J. G., & Salehi, M. (2008). *Digital communications*. McGraw-Hill. <https://thuvienso.hoasen.edu.vn/handle/123456789/10005>. Obtenido de <https://thuvienso.hoasen.edu.vn/handle/123456789/10005>
- Python Software Foundation. (s.f.). *Python 3.13.1 documentation*. Obtenido de Python Software Foundation: <https://docs.python.org/3/>
- Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communications: Principles and Practice*. Prentice Hall. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=CRrxEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Rappaport,+T.+S.+\(2002\).+Wireless+Communications:+Principles+and+Practice.+Prentice+Hall&ots=Fo9NpxL1CI&sig=skrW4VwH7BZaxk5gtZ-SbWAsoUs#v=onepage&q=Rappaport%2C%20T.%20S.%20\(2002](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=CRrxEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Rappaport,+T.+S.+(2002).+Wireless+Communications:+Principles+and+Practice.+Prentice+Hall&ots=Fo9NpxL1CI&sig=skrW4VwH7BZaxk5gtZ-SbWAsoUs#v=onepage&q=Rappaport%2C%20T.%20S.%20(2002)
- Sklar, B. (2001). *Digital Communications: Fundamentals and Applications* (2da edición ed.). Prentice Hall PTR.
- Stutzman, W. L., & Thiele, G. A. (2012). *Antenna Theory and Design*. USA: John Wiley & Sons. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=xhZRA1K57wIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Sweigart, A. (2015). *Automate the Boring Stuff with Python*. (L. Chun, Ed.) USA: William Pollock. <https://automatetheboringstuff.com>.
- Tse, D., & Viswanath, P. (2005). *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=GdsLAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR15&dq=Tse,+D.,+%26+Viswanath,+P.+\(2005\).+Fundamentals+of+Wireless+Communication.+Cambridge+University+Press&ots=aNAz2gJSat&sig=sD_gGK20-teYj1aJgx57_FtVTPw#v=onepage&q=Tse%2C%20D.%2C%2](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=GdsLAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR15&dq=Tse,+D.,+%26+Viswanath,+P.+(2005).+Fundamentals+of+Wireless+Communication.+Cambridge+University+Press&ots=aNAz2gJSat&sig=sD_gGK20-teYj1aJgx57_FtVTPw#v=onepage&q=Tse%2C%20D.%2C%2)

- Vaclav Kvicera, Martin Grabner, & Pavel Pechac. (1 de Noviembre de 2010). Analyses of Some Relations among Received Signal Levels, Effective Earth-radius Factors and Weather States. *Analyses of Some Relations among Received Signal Levels, Effective Earth-radius Factors and Weather States*. Paris, Francia. doi:10.23919/EUMC.2010.5616519
- Valle F, Ribadeneira J, Moreno F, Rodríguez. (2019). Planificación de Frecuencias para Televisión Digital Terrestre (TDT) en el Ecuador. *Revista Técnico - Científico Perspectivas*, 1(1), 23. doi:<https://doi.org/10.47187/perspectivas.vol1liss1.pp23-35.2019>
- Van Rossum, G. (s.f.). *Python*. Obtenido de Python: <https://www.python.org/about/>
- Wang W, Wang B, Lv Z, Huang W. (3 de 10 de 2010). Analysis of interference from digital Terrestrial Television Broadcast to LTE TDD in Digital Dividend spectrum. *Revista ResearchGate*, 6(3), 6. doi:10.1109/ICNIDC.2010.5657872
- Wong, D. K. (2012). *Fundamentals of Wireless Communication Engineering Technologies*. Canada: Wiley Telecom. <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?bknumber=8040019>.
- Zhao W, Wang G, Feifei G, Yulong Z, Samana A. (2017). Channel Capacity and Lower Bound for Ambient Backscatter Communication Systems. *Revista IEEE Xplore*, 4. doi:10.1109/WCSP.2017.8171133

5. ANEXOS

Anexo A



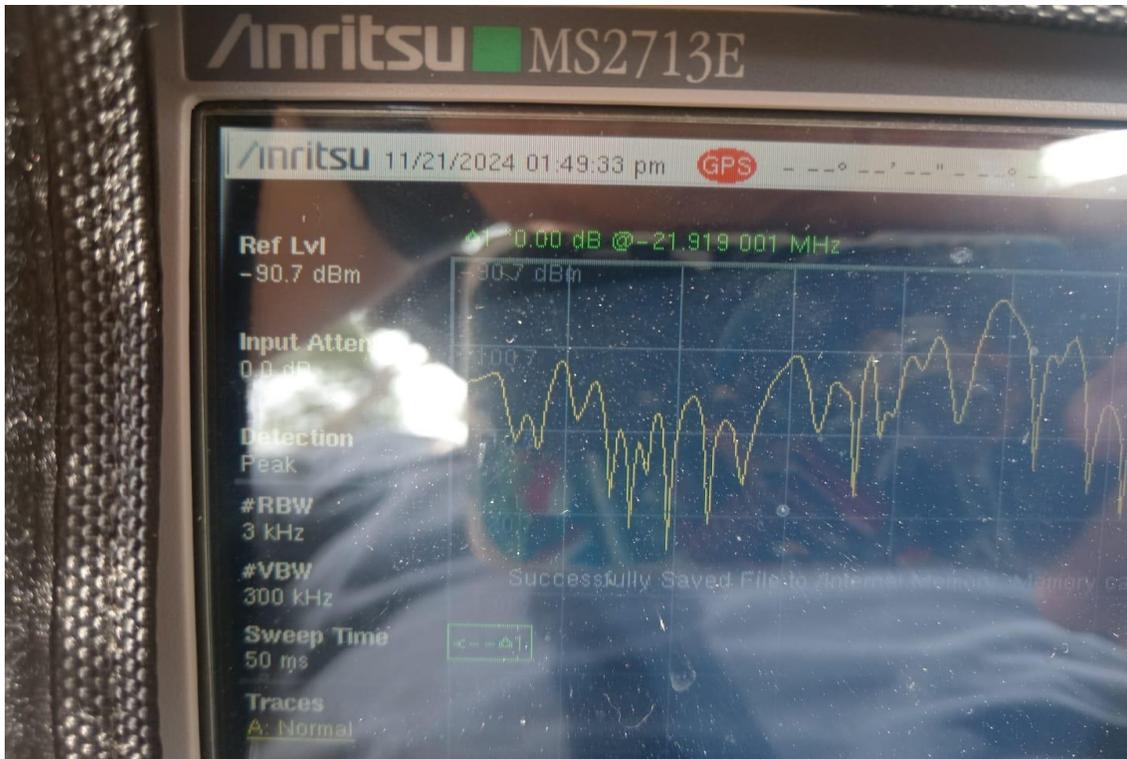
Anexo B



Anexo C



Anexo D



Anexo E



Anexo F



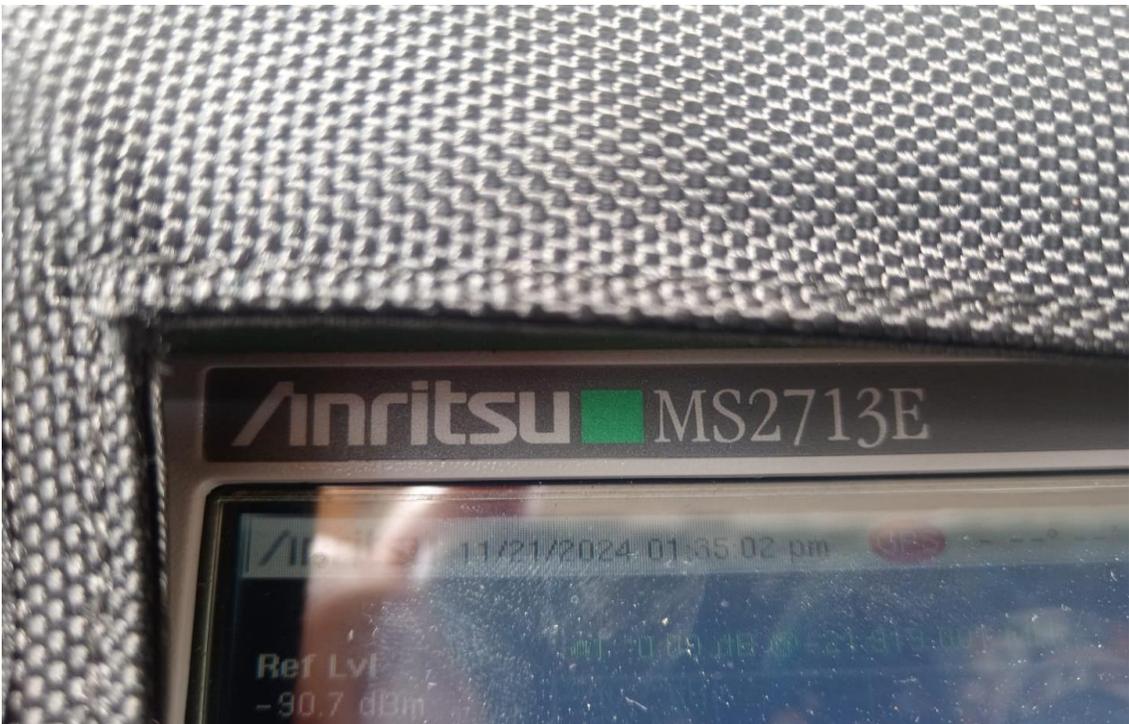
Anexo G



Anexo H



Anexo I



Anexo J



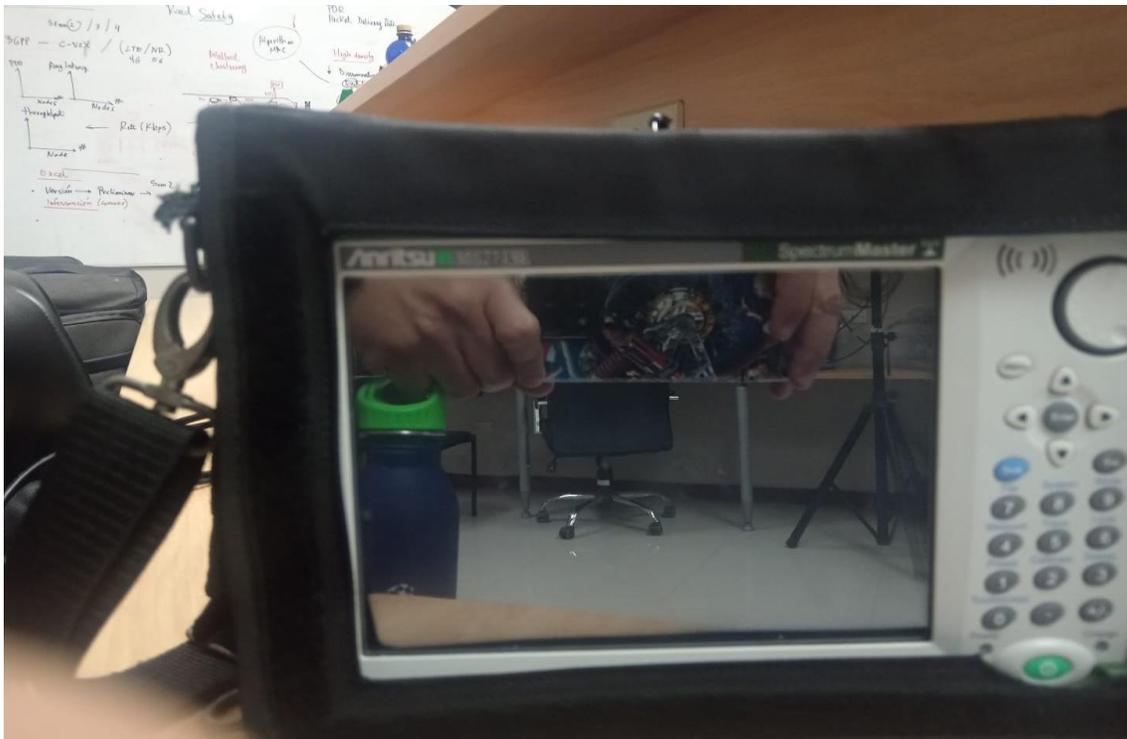
Anexo K



Anexo L



Anexo M



Anexo N



Anexo O



Anexo P



Anexo Q



Anexo R

