



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

### **CARRERA TELECOMUNICACIONES**

#### **“MEDICIÓN DE COMPONENTES RADIOELÉCTRICAS DE SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN FM Y TELEVISIÓN (VHF) PARA RECOMENDAR UN MODELO DE PROPAGACIÓN EXISTENTE A PARTIR DE LA CORRELACIÓN DE DATOS”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES**

**AUTORA**

**GABRIELA ALEJANDRA GÓMEZ BERMEO**

Riobamba – Ecuador

2022



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

### **CARRERA TELECOMUNICACIONES**

#### **“MEDICIÓN DE COMPONENTES RADIOELÉCTRICAS DE SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN FM Y TELEVISIÓN (VHF) PARA RECOMENDAR UN MODELO DE PROPAGACIÓN EXISTENTE A PARTIR DE LA CORRELACIÓN DE DATOS”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES**

**AUTORA: GABRIELA ALEJANDRA GÓMEZ BERMEO**

**DIRECTOR: Ing. PAÚL DAVID MORENO AVILÉS. PhD.**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Gabriela Alejandra Gómez Bermeo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Gabriela Alejandra Gómez Bermeo, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de Marzo del 2022


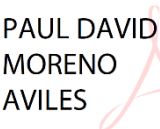

**Gabriela Alejandra Gómez Bermeo**  
**160046348-1**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA TELECOMUNICACIONES**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de investigación, **“MEDICIÓN DE COMPONENTES RADIOELÉCTRICAS DE SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN FM Y TELEVISIÓN (VHF) PARA RECOMENDAR UN MODELO DE PROPAGACIÓN EXISTENTE A PARTIR DE LA CORRELACIÓN DE DATOS”**, realizado por la señorita **GABRIELA ALEJANDRA GÓMEZ BERMEO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Pedro Severo Infante Moreira <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA</b>	10-03-2022
Ing. Paúl David Moreno Avilés <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 Firmado digitalmente da PAUL DAVID MORENO AVILES DN: cn=PAUL DAVID MORENO AVILES, serialNumber=190721102300, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC Data: 2022.04.13 19:01:41 -05'00'	10-03-2022
Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>HUGO OSWALDO MORENO AVILES</b>	10-03-2022

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, Gabriel y Nelly, por todo el esfuerzo que han hecho para darme la oportunidad de seguir mis sueños y lograr ser ingeniera, por ser el apoyo incondicional y la razón por la cual estoy donde estoy.

A todos mis amigos de la universidad, en especial a Paola, por su incondicional amistad y apoyo en todo el proceso de la formación académica.

Agradezco de manera especial al ingeniero David Moreno, tutor del presente trabajo, por ser la guía y fuente de conocimiento que ayudó a que este trabajo se haya logrado hacer en el tiempo establecido y de la mejor manera.

Gabriela Alejandra

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
ANTECEDENTES.....	xix
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	xix
SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	xx
JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	xx
JUSTIFICACIÓN APLICATIVA.....	xx
OBJETIVOS.....	xxi
Objetivo general.....	xxi
Objetivos específicos.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. Espectro radioeléctrico y radiocomunicaciones.....	2
1.1.1. <i>Modos de propagación:</i> .....	3
1.1.1.1. <i>Onda de superficie (OS)</i> .....	3
1.1.1.2. <i>Onda ionosférica (OI)</i> .....	3
1.1.1.3. <i>Onda espacial (OE)</i> .....	3
1.1.1.4. <i>Onda troposférica</i> .....	4
1.1.2. <i>Modos de explotación</i> .....	4
1.1.2.1. <i>Explotación simplex</i> .....	4

1.1.2.2.	<i>Explotación dúplex</i> .....	4
1.1.2.3.	<i>Explotación semidúplex</i> .....	5
<b>1.1.3.</b>	<b><i>Fenómenos de propagación</i></b> .....	<b>5</b>
1.1.3.1.	<i>Reflexión</i> .....	5
1.1.3.2.	<i>Refracción</i> .....	5
1.1.3.3.	<i>Difracción</i> .....	6
1.1.3.4.	<i>Dispersión</i> .....	14
1.1.3.5.	<i>Absorción</i> .....	14
<b>1.1.4.</b>	<b><i>Modelos de propagación</i></b> .....	<b>15</b>
1.1.4.1.	<i>Recomendación UIT-R P.525</i> .....	15
1.1.4.2.	<i>Modelo Longley-Rice</i> .....	16
1.1.4.3.	<i>Recomendación UIT-R P. 1546</i> .....	24
<b>1.1.5.</b>	<b><i>Bandas de frecuencia</i></b> .....	<b>30</b>
<b>1.2.</b>	<b><i>Radiodifusión</i></b> .....	<b>31</b>
<b>1.3.</b>	<b><i>Radiodifusión sonora</i></b> .....	<b>32</b>
1.3.1.	<i>Historia de la radiodifusión sonora</i> .....	32
1.3.2.	<i>Clasificación de la radiodifusión sonora</i> .....	32
1.3.3.	<i>Radiodifusión FM</i> .....	33
1.3.3.1.	<i>Elementos de la estación de radiodifusión sonora FM</i> .....	33
1.3.3.2.	<i>Características técnicas</i> .....	34
1.3.3.3.	<i>Ventajas y limitaciones</i> .....	35
1.3.4.	<i>Radiodifusión FM en Riobamba</i> .....	35
<b>1.4.</b>	<b><i>Radiodifusión televisiva</i></b> .....	<b>37</b>
1.4.1.	<i>Historia de la televisión</i> .....	37
1.4.2.	<i>Elementos de la estación de televisión analógica</i> .....	37
1.4.3.	<i>Características técnicas</i> .....	38
1.4.4.	<i>Ventajas y limitaciones</i> .....	39
1.4.5.	<i>Televisión analógica en Riobamba</i> .....	39
<b>1.5.</b>	<b><i>Software de procesamiento de datos</i></b> .....	<b>40</b>
1.5.1.	<i>Software R</i> .....	40



1.5.2.	<i>Matlab</i> .....	40
--------	---------------------	----

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	41
2.1.	<b>Mediciones</b> .....	41
2.1.1.	<b><i>Evaluación del entorno de medición</i></b> .....	41
2.1.1.1.	<i>Entorno de medición dentro de la ciudad de Riobamba</i> .....	41
2.1.1.2.	<i>Elección de radiodifusoras y televisoras para las mediciones</i> .....	43
2.1.2.	<b><i>Equipos de medición</i></b> .....	44
2.1.2.1.	<i>Spectra Precision Mobile Mapper 50</i> .....	44
2.1.2.2.	<i>Medidor de Radiación no Ionizante NARDA SRM-3006</i> .....	45
2.1.3.	<b><i>Método de medición</i></b> .....	49
2.1.4.	<b><i>Resultados de medición</i></b> .....	52
2.2.	<b>Obtención de datos teóricos</b> .....	53
2.2.1.	<b><i>Cálculos necesarios</i></b> .....	53
2.2.1.1.	<i>Distancias transmisor-receptor</i> .....	53
2.2.1.2.	<i>Altura efectiva</i> .....	54
2.2.2.	<b><i>Modelo de la Recomendación UIT-R P.525</i></b> .....	55
2.2.3.	<b><i>Modelo Longley-Rice</i></b> .....	55
2.2.4.	<b><i>Modelo de la Recomendación UIT-R P.1546</i></b> .....	56
2.2.5.	<b><i>Resultados teóricos</i></b> .....	57

## CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO DE RESULTADOS</b> .....	59
3.1.	<b>Comparación de los resultados medidos y los resultados teóricos</b> .....	59
3.1.1.	<b><i>Servicio de Radiodifusión FM</i></b> .....	61
3.1.2.	<b><i>Servicio de Televisión</i></b> .....	62
3.2.	<b>Modelo de propagación recomendado</b> .....	64

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Rangos de validez del modelo Longley-Rice .....	17
<b>Tabla 2-1:</b>	Variables de entrada del modelo Longley-Rice .....	17
<b>Tabla 3-1:</b>	Entradas adicionales del modelo Longley-Rice en modo de predicción de zona .....	18
<b>Tabla 4-1:</b>	Entradas adicionales del modelo Longley-Rice en modo de predicción punto-punto.....	19
<b>Tabla 5-1:</b>	Rangos de validez del modelo de la Recomendación UIT-R P.1546.....	24
<b>Tabla 6-1:</b>	Nomenclatura, características y servicios de las bandas de frecuencia .....	30
<b>Tabla 7-1:</b>	Características técnicas de la radiodifusión sonora FM en Ecuador .....	34
<b>Tabla 8-1:</b>	Ventajas y limitaciones de la radiodifusión FM sobre la radiodifusión AM.....	35
<b>Tabla 9-1:</b>	Listado de radiodifusoras FM con cobertura en Riobamba.....	35
<b>Tabla 10-1:</b>	Características técnicas de la televisión analógica en Ecuador .....	38
<b>Tabla 11-1:</b>	Ventajas y limitaciones de la televisión analógica .....	39
<b>Tabla 12-1:</b>	Listado de televisoras VHF con cobertura en Riobamba .....	39
<b>Tabla 1-2:</b>	Ubicaciones geográficas de los lugares de medición .....	43
<b>Tabla 2-2:</b>	Radiodifusora y televisora seleccionada para la recolección de datos .....	44
<b>Tabla 4-2:</b>	Especificaciones técnicas del medidor RNI SRM-3006.....	45
<b>Tabla 5-2:</b>	Factores climáticos correspondientes a los días de mediciones .....	50
<b>Tabla 7-2:</b>	Distancias transmisor-receptor .....	53
<b>Tabla 8-2:</b>	Alturas efectivas de los puntos de medición .....	55
<b>Tabla 9-2:</b>	Valores de las variables de entrada del modelo Longley-Rice.....	55
<b>Tabla 9-2:</b>	Valores de la altura de antena transmisora .....	56
<b>Tabla 10-2:</b>	Valores de intensidad de campo teórico para radiodifusión FM y TV.....	58
<b>Tabla 1-3:</b>	Valores de intensidad de campo teórico y medido para radiodifusión FM .....	59
<b>Tabla 2-3:</b>	Valores de intensidad de campo teórico y medido para televisión.....	60
<b>Tabla 3-3:</b>	Valores RMSE de los modelos de propagación para el servicio de radiodifusión FM.....	62

<b>Tabla 4-3:</b>	Valores RMSE de acuerdo a los entornos de medición para el servicio de radiodifusión FM.....	62
<b>Tabla 5-3:</b>	Valores RMSE de los modelos de propagación para el servicio de televisión..	63
<b>Tabla 6-3:</b>	Valores RMSE de acuerdo a los entornos de medición para el servicio de televisión .....	64
<b>Tabla 7-3:</b>	Valores RMSE de la recomendación UIT-R P.1546 según los entornos de medición.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Espectro electromagnético .....	2
<b>Figura 2-1:</b>	Capas atmosféricas .....	3
<b>Figura 3-1:</b>	Modos de propagación .....	4
<b>Figura 4-1:</b>	Propagación por reflexión .....	5
<b>Figura 5-1:</b>	Refracción de ondas .....	6
<b>Figura 6-1:</b>	Difracción de ondas.....	6
<b>Figura 7-1:</b>	Zonas de Fresnel.....	7
<b>Figura 8-1:</b>	Despejamiento .....	8
<b>Figura 9-1:</b>	Parámetros geométricos de un obstáculo agudo a) Obstáculo agudo por encima de la línea de vista, b) Obstáculo agudo por debajo de la línea de vista .....	8
<b>Figura 10-1:</b>	Parámetros geométricos de un obstáculo redondeado .....	9
<b>Figura 11-1:</b>	Geometría del método EMP .....	10
<b>Figura 12-1:</b>	Geometría del método Epstein-Peterson .....	11
<b>Figura 13-1:</b>	Geometría del método de la Recomendación UIT-R P.526 .....	11
<b>Figura 14-1:</b>	Dispersión troposférica.....	14
<b>Figura 15-1:</b>	Absorción atmosférica.....	15
<b>Figura 16-1:</b>	Curva de intensidad de campo para una frecuencia de 100 MHz sobre un trayecto terrestre y con 50% del tiempo .....	26
<b>Figura 17-1:</b>	Curva de intensidad de campo para una frecuencia de 600 MHz sobre un trayecto sobre mares fríos y con 10% del tiempo.....	27
<b>Figura 18-1:</b>	Curva de intensidad de campo para una frecuencia de 2000 MHz sobre un trayecto sobre mares cálidos y con 1% del tiempo.....	28
<b>Figura 19-1:</b>	Elementos de una estación de radiodifusión FM.....	33
<b>Figura 20-1:</b>	Diagrama de bloques de la transmisión FM .....	33
<b>Figura 21-1:</b>	Espectro analógico del estándar NTSC .....	38
<b>Figura 1-2:</b>	Mapa de la parroquia Lizarzaburu con los puntos de medición establecidos....	42
<b>Figura 2-2:</b>	GPS Mobile Mapper 50.....	44

<b>Figura 3-2:</b>	GPS Mobile Mapper 50 ubicado en a) Parque Las Retamas, b) Av. Pedro Vicente Maldonado, c) Calle Olmedo.....	45
<b>Figura 4-2:</b>	Medidor RNI SRM-3006.....	46
<b>Figura 5-2:</b>	Antena de medición de 3 ejes.....	46
<b>Figura 6-2:</b>	Configuración del medidor Narda SRM-3006 .....	47
<b>Figura 7-2:</b>	Espectro de la radiodifusora “Radio Ciudad” .....	48
<b>Figura 8-2:</b>	Espectro del canal de televisión “Ecuavisa” .....	48
<b>Figura 9-2:</b>	Espectro de la portadora de video .....	49
<b>Figura 10-2:</b>	Narda SMR-3006 ubicado en los puntos de medición .....	51
<b>Figura 11-2:</b>	Altura efectiva calculada en el punto de medición del Parque Sesquicentenario. .....	54

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico 1.3:** Comparativa de los valores de intensidad de campo eléctrico dado por los modelos de propagación y el medido para la frecuencia 106,5 MHz..... **61**
- Gráfico 2.3:** Comparativa de los valores de intensidad de campo dado por los modelos de propagación y el medido para la frecuencia 55,25 MHz..... **63**

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Código de Matlab para la obtención de las distancias transmisor-receptor
- ANEXO B:** Código de Matlab para la obtención de los valores de intensidad de campo predichos por la recomendación UIT-R P.525
- ANEXO C:** Código de Matlab para la obtención de los valores de intensidad de campo predichos por la recomendación UIT-R P.1546
- ANEXO D:** Configuración del software Radio Mobile para la obtención de los valores de intensidad de campo predichos por el modelo Longley-Rice



## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>AM</b>	Amplitud Modulada
<b>ARCOTEL</b>	Agencia de Regulación y Control de las telecomunicaciones
<b>dB</b>	Decibelios
<b>E</b>	Intensidad de campo eléctrico
<b>FM</b>	Frecuencia Modulada
<b>GHz</b>	Gigahercios
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite)
<b>GPS</b>	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
<b>Hz</b>	Hercios
<b>ICNIRP</b>	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Comisión Internacional de Protección de Radiación no Ionizante)
<b>KHz</b>	Kilohercios
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>MHZ</b>	Megahercios
<b>MR</b>	Measurement Range – Rango de medición
<b>Msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>NTSC</b>	National Television System Committe (Comité Nacional de Sistema de Televisión)
<b>P.I.R.E</b>	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva
<b>P.R.A</b>	Potencia Radiada Aparente
<b>RBW</b>	Resolution Bandwidth (Ancho de banda de resolución)
<b>RNI</b>	Radiación no Ionizante
<b>Rx</b>	Receptor
<b>Tx</b>	Transmisor
<b>UIT</b>	Unión internacional de telecomunicaciones.
<b>VHF</b>	Very High Frequency (Frecuencia Muy Alta)

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue recomendar un modelo propagación que mejor se ajuste al comportamiento real de la intensidad de campo eléctrico de los servicios de radiodifusión FM y TV en la banda VHF en la parroquia Lizarzaburu perteneciente a la ciudad de Riobamba, para lo cual se comparó los valores de intensidad de campo predecidos por los modelos de propagación UIT-R P.525, Longley-Rice y UIT-R P.1546 con los valores de intensidad de campo medidos con el medidor Narda SRM-3006. La medición de la intensidad de campo se la realizó en 16 locaciones distribuidas de manera equitativa para 3 entornos diferentes, 6 locaciones para el primer entorno donde existía considerable presencia de vegetación, 5 locaciones del segundo entorno considerado “despejado” por la despreciable presencia de edificaciones y vegetación y 5 locaciones del tercer entorno el cual presentaba edificaciones de altura y densidad considerable. Se hizo uso del GPS Mobile Mapper 50 para recabar información geográfica de las 16 locaciones, la cual fue necesaria para calcular parámetros de entrada necesarios para los modelos, como distancias y alturas efectivas. Los datos predecidos por los modelos de propagación se obtuvieron mediante el uso del software Matlab y Radio Mobile. Para el análisis estadístico se aplicó la prueba RMSE mediante el software R, la prueba mostró que la recomendación UIT-R P.1546 predijo de mejor manera la intensidad de campo eléctrico en ambos servicios, se tuvo un error de 6,62566 y 5,28365 de los valores medidos con los predecidos para el servicio de radiodifusión FM y de televisión respectivamente. Se concluye que el modelo de la recomendación UIT-R P.1546 predice de mejor manera los valores de intensidad de campo eléctrico para el servicio de radiodifusión FM y de televisión. Se recomienda ampliar el campo de estudio, tanto las locaciones como los modelos de propagación.

**Palabras clave:** <RADIODIFUSIÓN FM Y TV>, <FRECUENCIA MUY ALTA (VHF)>, <INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO>, <MODELOS DE PROPAGACIÓN>, <RIOBAMBA [Ciudad]>



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

0398-DBRA-UPT-2022

2022-03-07

## ABSTRACT

The objective of this study was to recommend a propagation model that best fits the actual behavior of the electric field strength of FM broadcasting services and TV in the VHF band in the Lizarzaburu parish belonging to Riobamba city, for which the values of field intensity predicted by the propagation models were compared ITU-R P.525, Longley-Rice and ITU-R P.1546 with the field strength values measured with the Narda SRM-3006 meter. The measurement of the field intensity was carried out in 16 equally distributed locations for 3 different environments, 6 locations for the first environment where there was a considerable presence of vegetation, 5 locations of the second environment considered "clear" due to the negligible presence of buildings and vegetation and 5 locations of the third environment which presented buildings of considerable height and density. The GPS Mobile Mapper 50 was used to collect geographic information from the 16 locations, which was necessary to calculate input parameters needed for the models, such as effective distances and heights. The data predicted by the propagation models were obtained through the use of Matlab and Radio Mobile software. For the statistical analysis, the RMSE test using R software, the test showed that the recommendation ITU-R P.1546 best predicted the intensity of the electric field in both services, there was an error of 6.62566 and 5.28365 of the measured values with those predicted for the broadcasting service FM and television respectively. It is concluded that the model of the ITU-R recommendation P.1546 better predicts the electric field strength values for utility service FM radio and television broadcasting. It is recommended to expand the field of study, both the locations such as propagation models.

**Keywords:** <FM BROADCASTING AND TV> <VERY HIGH FREQUENCY (VHF)> <ELECTRIC FIELD STRENGTH> <PROPAGATION MODELS> <RIOBAMBA (CANTON)>



Firmado electrónicamente por:  
WILSON GONZALO  
ROJAS YUMISACA

MSc. Wilson G. Rojas

**NOMBRE Y FIRMA PROFESOR**

## **ANTECEDENTES**

En el artículo realizado por Popoola Jide, se observó que ningún modelo de propagación puede adaptarse mejor a todos los entornos de servicio de radio lo que llevó a la hipótesis de modelos específicos para entornos específicos, para verificar científicamente esta hipótesis, se investigó el rendimiento del modelo de pérdida de propagación en el espacio libre (FSPL) en dos entornos de radio caracterizados por diferentes tipos de obstrucciones. La investigación se llevó a cabo mediante la medición de la distribución de la intensidad de campo de dos estaciones de radiodifusión que transmiten a 96,5 MHz y 102,3 MHz, el resultado del análisis mostró una gran disparidad entre las pérdidas de trayectoria medidas y las pérdidas de trayectoria calculadas utilizando el modelo FSPL. (Popoola et al., 2018)

Por otro lado, en un estudio realizado en Grecia, se hizo una comparación entre la precisión relativa del modelo Longley-Rice, UIT-R P.1546 y Hata-Davidson, en las bandas de frecuencia VHF-FM y UHF-TV, el motivo del estudio fue que el modelo ha sido utilizado casi exclusivamente por la FCC en los Estados Unidos como medio para tener mapas precisos de predicciones de cobertura geográfica para FM y TV, asignación de canales, frecuencias y evitar interferencias no deseadas.

En el estudio mencionado, se realizaron simulaciones con datos de entrada precisos y actualizados (altura de la antena, ganancia, ubicación, potencia de transmisión, entre otros) para las estaciones de FM-TV, los resultados calculados-simulados fueron confrontados con mediciones de campo. Los errores entre predicciones y mediciones fueron analizados estadísticamente en las dos bandas de frecuencia, en este estudio se concluyó que el modelo Longley-Rice, en general, sobreestima los valores de intensidad de campo. (Kasampalis et al., 2014)

Entre los artículos y trabajos revisados, ninguno pertenece a la región o se trata de un servicio diferente, como es el caso del estudio en Brasil, por parte de Silva (Silva et al., 2013) donde se estudia los modelos de propagación para la predicción de la cobertura de la TV Digital cuyo servicio en el Ecuador, aún no se encuentra totalmente implementado, y se espera que para el 2023 recién se cambie absolutamente toda la TV analógica. (Metro Ecuador, 2018)

Por tal motivo, la necesidad de realizar un estudio donde, se valide los datos arrojados por un modelo de propagación respecto a los datos reales que da un servicio de radiocomunicaciones específico, en este caso, radiodifusión FM y TV en la ciudad de Riobamba.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Se puede medir las componentes radioeléctricas de sistemas de Radiodifusión FM y Televisión (VHF) en la ciudad de Riobamba para recomendar un modelo de propagación existente a partir de la correlación de datos?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son los estudios comparativos de los modelos de propagación existentes respecto a mediciones realizadas en determinados lugares?

¿Existen mediciones y registros de la intensidad de campo eléctrico con el medidor NARDA 3006 en la banda I, II y III de VHF, en la parroquia Lizarzaburu de la ciudad de Riobamba?

¿Se puede calcular matemáticamente los valores de campo eléctrico en la banda I, II y II de VHF en la parroquia Lizarzaburu con los modelos de propagación Longley-Rice, Recomendación UIT-R P.1546 y UIT-R P.525 mediante herramientas que faciliten el proceso?

¿Es posible comparar los valores medidos con los resultados obtenidos de los modelos de propagación Longley-Rice, Recomendación UIT-R P.1546 y UIT-R P.525?

¿Se puede recomendar un modelo de propagación existente que mejor se ajuste a los datos medidos en la ciudad de Riobamba para los servicios de Radiodifusión FM y Televisión (VHF)?

## **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

En la actualidad existen diversos modelos de propagación, con una amplia aplicación en diferentes servicios de radiocomunicaciones, los mismos son utilizados para predecir valores de campo eléctricos, potencia, pérdidas y atenuaciones, por lo que se han realizado distintos estudios en diferentes locaciones, de distintos países, con el objetivo de determinar cuál de los modelos de propagación existentes se ajusta más a los datos reales que se obtienen en dicha zona, estos estudios, en especial de los servicios de Radiodifusión FM y Televisión, en la ciudad de Riobamba no se han realizado.

Con el fin de aportar a trabajos futuros a realizar en la ciudad, se vio la necesidad de medir y comparar valores de campo con el fin de determinar cuál de los modelos de predicción de propagación es el más apropiado para ser utilizado en la Ciudad de Riobamba.

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

El presente trabajo se realizará a través de las mediciones de intensidad de campo de los servicios de radiodifusión FM y televisión en la banda I, II y III de VHF, en una zona específica de la ciudad de Riobamba, el lugar elegido fue la parroquia Lizarzaburu, esta etapa se llevará a cabo con la ayuda del medidor de Radiación No Ionizante (RNI) NARDA SRM-3006, equipo disponible en la Facultad de Informática y Electrónica (FIE).

Previo al trabajo de campo, se analizará la estructura geográfica de la zona escogida para diagramar los puntos en los que se realizará las mediciones, para ello se considerará puntos céntricos, áreas abiertas y lugares con vegetación. Posteriormente, se elegirá de acuerdo a las

recomendaciones de la UIT, cuantas, y a que distancias se harán las mediciones, ya que se establece que al menos se debe hacer 5 mediciones en al menos 15 distancias diferentes del transmisor.

A la par con la recolección de los datos se llevará un registro de las condiciones en la que se obtuvieron los datos, como son el día en la que se realizará la medición y sus condiciones climáticas, altura de las antenas, distancias, frecuencias, entre otros datos que sean considerados esenciales.

Una vez concluida la etapa de medición, se realizará el cálculo matemático de la intensidad de campo eléctrico en base a los modelos de propagación Longley-Rice, Recomendación UIT-R P.1546 y UIT-R P.525. Con el fin de hacer este proceso de forma eficiente y rápida, se usará el software Matlab y Radio Mobile, donde se escribirán las fórmulas necesarias o se configurará el software con los datos de entrada requeridos para la obtención de los valores.

Por último, se realizará una comparativa entre los valores medidos y calculados, en esta etapa se utilizará la herramienta estadística R y la prueba RMSE, basándose en la diferencia resultante se hará la toma de decisión del modelo de propagación a recomendar.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Medir las componentes radioeléctricas de sistemas de Radiodifusión FM y Televisión (VHF) en la ciudad de Riobamba para recomendar un modelo de propagación existente a partir de la correlación de datos.

### **Objetivos específicos**

- Investigar el estado del arte del estudio comparativo de los modelos de propagación existentes respecto a mediciones realizadas en determinados lugares.
- Medir y registrar la intensidad de campo eléctrico con el medidor NARDA SRM-3006 en la banda I, II y III de VHF, en la parroquia Lizarzaburu de la ciudad de Riobamba.
- Calcular matemáticamente los valores de campo eléctrico en la banda I, II y III de VHF en la parroquia Lizarzaburu con los modelos de propagación Longley-Rice, Recomendación UIT-R P.1546 y UIT-R P.525 mediante herramientas que faciliten el proceso.
- Comparar los valores medidos con los resultados obtenidos de los modelos de propagación Longley-Rice, Recomendación UIT-R P.1546 y UIT-R P.525.
- Recomendar un modelo de propagación existente que mejor se ajuste a los datos medidos en la ciudad de Riobamba para los servicios de Radiodifusión FM y Televisión VHF.

## INTRODUCCIÓN

Los modelos de propagación son ampliamente usados en distintas planificaciones de los diversos servicios de telecomunicaciones existentes, son una parte esencial para saber la factibilidad de implementar un radioenlace en una zona o sector. Existen diversos modelos, los cuales son usados para servicios específicos por los parámetros que los mismos implican para el cálculo de potencia, pérdidas o campo, es por ello que en diversos lugares del mundo se han llevado a cabo distintos estudios con el propósito de determinar qué modelo de propagación específico puede dar mejores resultados o predicciones de los valores requeridos.

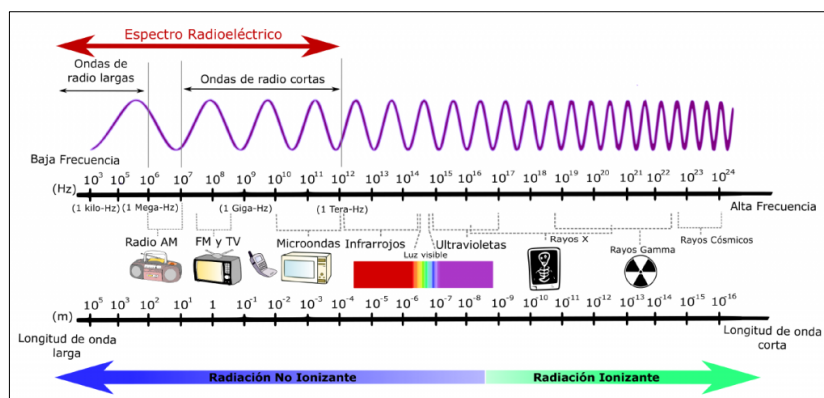
En el presente trabajo se estudia 3 modelos de propagación y se compara los resultados arrojados por los mismos, respecto a los valores obtenidos en trabajo de campo realizado en la ciudad de Riobamba.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Espectro radioeléctrico y radiocomunicaciones

El espectro electromagnético es una colección de todas las frecuencias posibles que producen radiación electromagnética, se organiza de acuerdo a la frecuencia correspondiente de las ondas que lo conforman, como se observa en la figura 1-1, hacia un extremo del espectro se agrupan las ondas de frecuencias más bajas, mientras que en el otro extremo se agrupan las ondas de frecuencias más altas. (EsOpo, 2016)



**Figura 1-1:** Espectro electromagnético

Fuente: EsOpo, 2016

El espectro electromagnético se compone de diversas porciones, cada porción se distingue de las otras por el comportamiento de sus ondas durante la emisión, transmisión y absorción, así también como en sus aplicaciones prácticas. (Raffino, 2018)

El espectro radioeléctrico, entonces, se define como la porción del espectro electromagnético por el cual se transmiten las ondas electromagnéticas que hacen posibles las telecomunicaciones, el rango de frecuencias que forman este segmento están por debajo de los 3000 GHz. (EsOpo, 2016)

De acuerdo con Hernando Rábanos, la radiocomunicación se define como una telecomunicación que se realiza por medio de ondas radioeléctricas. La técnica de radiocomunicación consiste en la transmisión y recepción de información.

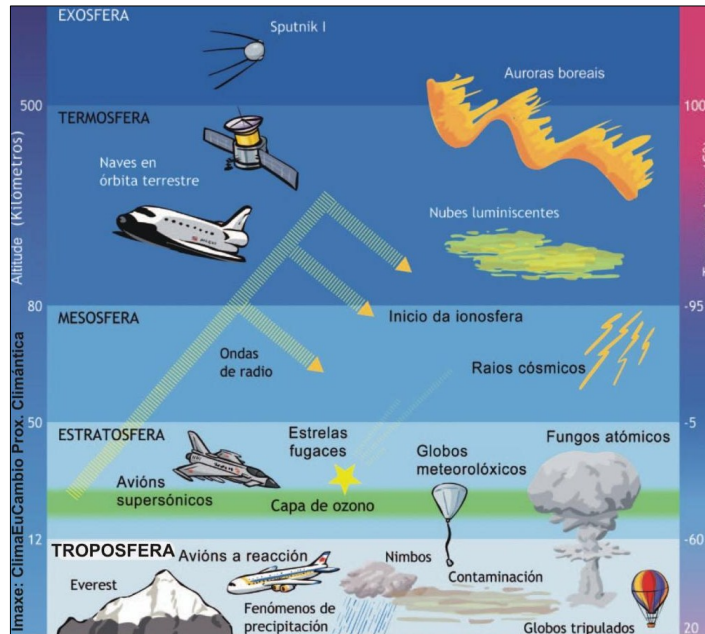
El proceso de transmisión consta de la modulación de la información a transmitir, su posterior emisión a un medio de propagación con un dispositivo de acoplamiento denominado antena. El proceso de recepción, por otra parte, recibe la señal modulada y se encarga de demodularla para tener la información original, en este proceso, debido a las características de propagación de las



ondas radioeléctricas, frecuentemente se recibe señales adicionales a las que el transmisor envió, conocidas como señales interferentes o no deseadas. (Hernando Rábanos, Mendo y Riera, 2008, p. 21-22)

### 1.1.1. Modos de propagación:

La modalidad de propagación de una onda radioeléctrica depende de su frecuencia así también como del tipo y las características eléctricas del terreno subyacente y la atmósfera.



**Figura 2-1:** Capas atmosféricas

Fuente: Gómez, 2020

#### 1.1.1.1. Onda de superficie (OS)

Onda cuyo desplazamiento sigue el nivel del suelo, posee un largo alcance y gran estabilidad de las señales, corresponde a frecuencias inferiores a 30MHz, el tipo de terreno influye notoriamente en la propagación.

#### 1.1.1.2. Onda ionosférica (OI)

La propagación es posible por la reflexión de las ondas en las capas ionizadas que circundan la Tierra, es decir, en la capa ionosférica (ver figura 2-1), este modo de propagación corresponde a frecuencias entre 3 y 30 MHz, las señales poseen un gran alcance y un cierto grado de inestabilidad.

#### 1.1.1.3. Onda espacial (OE)

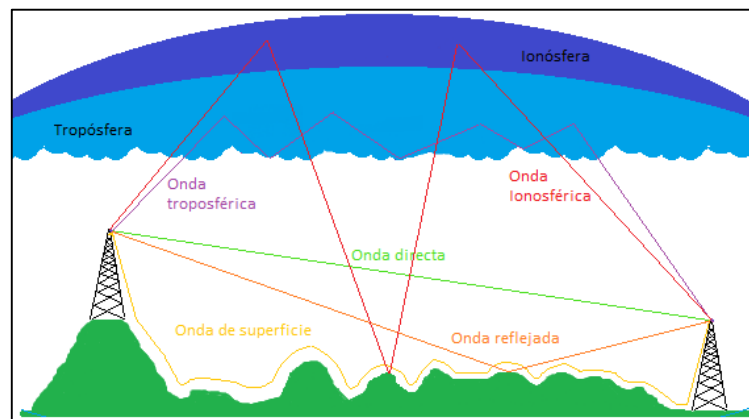
Propagación que se realiza a través de las capas bajas de la atmósfera, es decir, en la capa troposférica (ver figura 2-1), puede tomar parte del suelo, estas ondas corresponden a frecuencias superiores a 30MHz, es estable, limitada por línea de vista directa entre el

transmisor y el receptor, se puede ver afectada por desvanecimientos de la señal, consta de 3 sub-modos:

- Onda directa (OD): Sub-modo en el que la radiación va directamente desde el transmisor hasta el receptor, su alcance es limitado, llega hasta donde el horizonte es visible.
- Onda reflejada (OR): Sub-modo en el que la radiación desde el transmisor hasta el receptor sufre una reflexión en el terreno subyacente.
- Onda Multitrayecto: Sub-modo en el que la radiación desde el transmisor hasta el receptor sufre múltiples reflexiones en distintas capas de estratos troposféricos.

#### 1.1.1.4. Onda troposférica

Las reflexiones dispersivas en la capa de la tropósfera dan lugar a esta propagación, la reflexión es causada por la variación de las constantes físicas de la tropósfera, se habla específicamente del índice de refracción. (Luque Ordóñez, 2012). En la figura 3-1 se aprecia gráficamente los modos de propagación.



**Figura 3-1:** Modos de propagación

Realizado por: Gómez, 2021

#### 1.1.2. Modos de explotación

Los modos de explotación definen la forma en la que se produce la comunicación entre el transmisor y receptor.

##### 1.1.2.1. Explotación simplex

Modo de explotación que permite transmitir en uno u otro sentido de un canal de radiocomunicación, es decir, una comunicación unidireccional, puede realizarse con una o dos frecuencias radioeléctricas.

##### 1.1.2.2. Explotación dúplex

Modo de explotación que permite la transmisión simultánea en los dos sentidos de un canal de radiocomunicación, es decir, una comunicación bidireccional, emplea por lo general dos frecuencias radioeléctricas.

### 1.1.2.3. Explotación semidúplex

Comunicación bidireccional, al igual que la explotación dúplex se emplea dos frecuencias radioeléctricas, con la distinción que una frecuencia es ocupada para transmitir y otra para recibir, por lo cual en un punto del enlace de radiocomunicación se habla de explotación simplex y en otro punto del enlace se habla de explotación dúplex. (Hernando Rábanos, Mendo y Riera, 2008, p. 25-26)

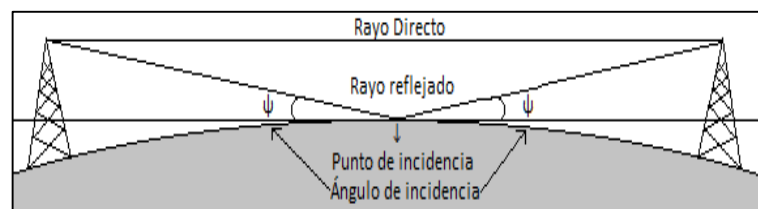
### 1.1.3. Fenómenos de propagación

Distintos fenómenos físicos afectan a la propagación de las ondas electromagnéticas, dependiendo de la frecuencia y polarización de la misma, así también, de las características del medio de propagación como son el tipo de terreno y las condiciones de las capas atmosféricas.

#### 1.1.3.1. Reflexión

Fenómeno físico que ocurre cuando una onda se propaga por un medio de transmisión donde existe una superficie de separación con otro medio, en este caso la onda sufre un cambio en su dirección de propagación.

En radio propagación la reflexión depende del coeficiente de reflexión, es decir, depende netamente de las características eléctricas del suelo como son la conductividad y la constante dieléctrica del mismo, se modela mediante un rayo directo y otro reflejado en el suelo como se observa en la figura 4-1.



**Figura 4-1:** Propagación por reflexión

Realizado por: Gómez, 2021

La teoría de reflexión es aplicable siempre y cuando el ángulo de incidencia sea superior a un valor límite denotado por la ecuación (1.1), si el ángulo de incidencia es menor, ocurre la propagación por difracción, de la cual se habla en el apartado 1.1.3.3. (Hernando Rábanos, Mendo y Riera, 2008, p. 115-118)

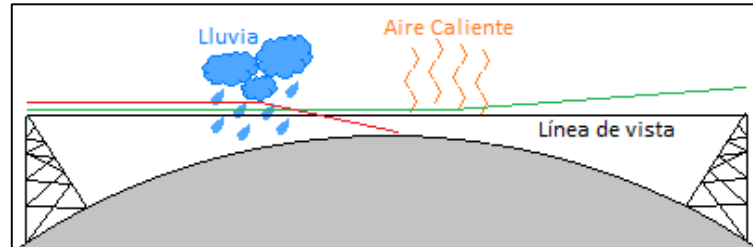
$$\psi_{\text{lim}} = \left( \frac{5400}{f} \right)^{1/3} \quad (1.1)$$

#### 1.1.3.2. Refracción

Fenómeno físico ocuriente por el paso de una onda de un medio a otro que presentan distintas densidades, provoca un cambio en la dirección y velocidad del rayo incidente. En radio propagación los enlaces entre transmisor y receptor trabajan en la capa baja de la atmósfera, es

decir, en la tropósfera, la misma presenta cambios de densidad y variaciones temporales debido a fenómenos meteorológicos (lluvia, aire caliente, entre otros) por lo que la refracción puede aumentar o disminuir el alcance del enlace.

En el caso del aumento, la refracción provoca que la onda se eleve por encima de la línea de vista, en el caso de la disminución, la refracción provoca que las ondas desciendan por debajo de la línea de vista, tal y como se muestra en la figura 5-1. (Martínez, 2018)



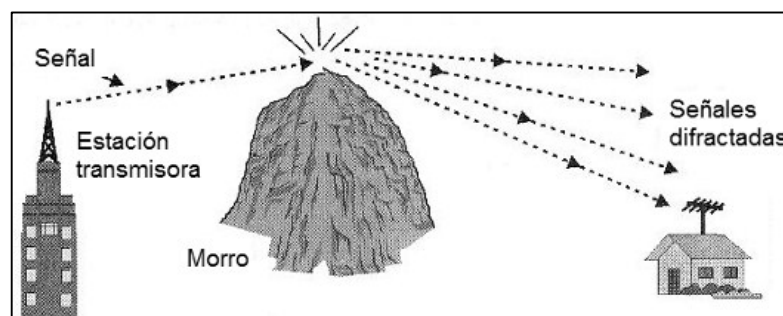
**Figura 5-1:** Refracción de ondas

Realizado por: Gómez, 2021

### 1.1.3.3. Difracción

Fenómeno físico causado por la redistribución de energía debido al paso cercano por un borde/esquina de un objeto opaco, es decir, el rayo incidente al entrar en contacto con un obstáculo se dispersa en distintas direcciones hacia lo que se conoce como “zona de sombra” (ver figura 6-1), a pesar de que la onda se irradia hacia todas las direcciones, se mantiene la dirección original de avance, debido a que las ondas secundarias generadas por la difracción se anulan entre sí, sin generar cambios en la dirección de propagación. (Tomasi et al. 2003, p. 357)

En radio propagación este fenómeno provoca atenuación en la señal transmitida, para el análisis de su influencia en los radioenlaces se define lo que son las zonas de Fresnel, el despejamiento y distintos escenarios de propagación donde el trayecto está obstruido por uno o más obstáculos como pueden ser protuberancias de la tierra, árboles, edificios, etc. (Hernando Rábanos, Mendo y Riera, 2008, p. 152-153)

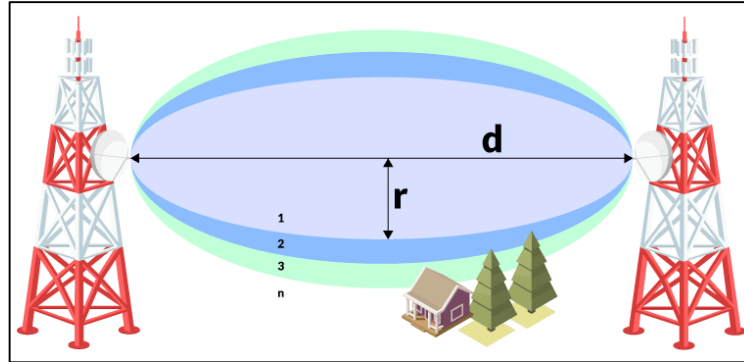


**Figura 6-1:** Difracción de ondas

Fuente: Braga, 2021

a. *Zonas de Fresnel*

Las zonas de Fresnel son elipsoides concéntricos formados alrededor de la línea de vista entre el transmisor y el receptor, cada uno de los cuales dispone de un radio  $r$ , el mismo que aumenta a medida que se aleja de la trayectoria de la línea de vista (ver figura 7-1).



**Figura 7-1:** Zonas de Fresnel

Fuente: Martínez, 2018

Con este principio se determina que espacio entre el transmisor y el receptor debe estar libre para que la difracción no atenué por completo la señal transmitida, se calcula mediante la ecuación (2.1).

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}} ; n = 1,2,3, \dots, n \quad (2.1)$$

Donde:

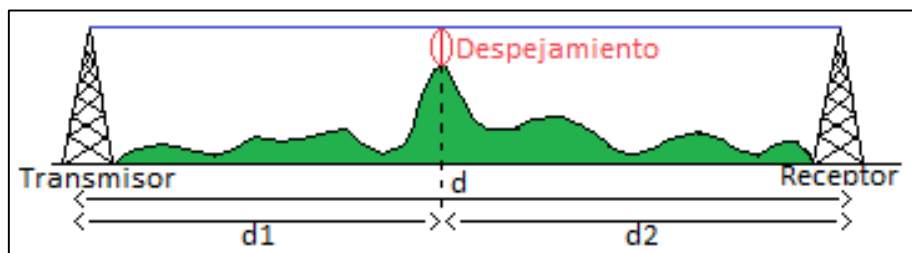
- $R_n$ : Radio de la n-sima zona de Fresnel (m)
- $n$ : Zona de Fresnel
- $d_1$ : Distancia del transmisor hasta el obstáculo (km)
- $d_2$ : Distancia del obstáculo al receptor (km)
- $f$ : Frecuencia (MHz)
- $d$ : Distancia del enlace (km)

Como la primera zona de Fresnel es la más cercana a la trayectoria entre el transmisor y el receptor, tiende a afectar más a la intensidad de la señal, por lo que en las consideraciones siguientes se trabaja alrededor de esta primera zona, haciendo  $n = 1$  en (2.1) se tiene (3.1)

$$R_1 = 548 \sqrt{\frac{d_1d_2}{fd}} \quad (3.1)$$

b. *Despejamiento*

Se conoce como despejamiento a la distancia  $h$  existente entre un obstáculo y el rayo directo de propagación (ver figura 8-1), se tiene dos posibles resultados: Cuando  $h > 0$ , se considera obstrucción de la línea de vista por el obstáculo; Cuando  $h < 0$ , se considera que la línea de vista está por encima del obstáculo.



**Figura 8-1:** Despejamiento

Realizado por: Gómez, 2021

En la práctica se trabaja con el “despejamiento normalizado” que se refiere al índice entre el despejamiento  $h$  y la primera zona de Fresnel  $R_1$ , para que exista propagación por difracción se tiene que cumplir:  $-0,6 \leq h/R_1 \leq 0,5$ . (Hernando Rábanos, Mendo y Riera, 2008, p. 154-155)

*c. Difracción por obstáculos*

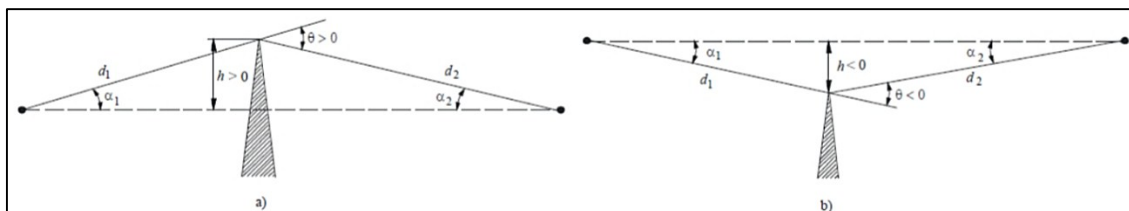
La difracción causa atenuación de la señal, por lo que es necesario calcular las pérdidas que provoca este fenómeno, existen procedimientos simplificados que proporcionan estos valores de pérdida lo suficientemente exactos, se presenta 3 posibles escenarios:

*Obstáculo aislado*

En este escenario se considera que la atenuación de la señal está dada únicamente por el obstáculo y no por el terreno que lo rodea, se debe cumplir que el trayecto libre de obstáculos a ambos lados debe ser un 0,6 de la primera zona de Fresnel, se considera dos casos de obstáculo aislado.

o Obstáculo agudo/Obstáculo único en filo de cuchillo

Caso idealizado que considera una arista de grosor despreciable, los parámetros geométricos para su estudio son el despejamiento ( $h$ ), la distancia del obstáculo desde el transmisor ( $d_1$ ), la distancia desde el receptor al obstáculo ( $d_2$ ) y el ángulo de difracción ( $\theta$ ), (ver figura 9-1)



**Figura 9-1:** Parámetros geométricos de un obstáculo agudo a) Obstáculo agudo por encima de la línea de vista, b) Obstáculo agudo por debajo de la línea de vista

Fuente: (UIT-R, 2019)

Todos los parámetros geométricos descritos se agrupan en un solo parámetro sin dimensión dado por la ecuación (4.1)

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (4.1)$$

La ecuación en unidades prácticas se expresa mediante la ecuación (5.1)

$$v = 2,58 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{f \cdot d}{d_1 \cdot d_2}} \cdot h \quad (5.1)$$

Donde:

$h$ : Despejamiento (m)

$d_1$ : Distancia del transmisor hasta el obstáculo (km)

$d_2$ : Distancia del obstáculo al receptor (km)

$f$ : Frecuencia (MHz)

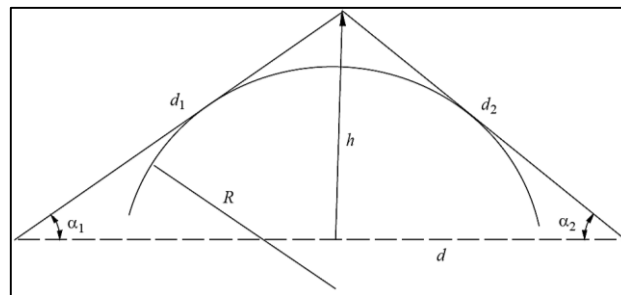
$d$ : Distancia del enlace (km)

El cálculo de las pérdidas por difracción debido a este tipo de obstáculo se da mediante la ecuación (6.1)

$$J(v) = 6,9 + 20 \log \left( \sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) \text{ (dB)} \quad (6.1)$$

- Obstáculo redondeado/Obstáculo único de forma redondeada

Se idealiza el caso mediante una arista gruesa y lisa, los parámetros requeridos para su estudio son el despejamiento ( $h$ ), la longitud del enlace ( $d$ ), la distancia del obstáculo desde el transmisor ( $d_1$ ), la distancia desde el receptor al obstáculo ( $d_2$ ), el radio del obstáculo ( $R$ ), (ver figura 10-1)



**Figura 10-1:** Parámetros geométricos de un obstáculo redondeado

Fuente: (UIT-R, 2019)

Todos los parámetros geométricos descritos se agrupan en un solo parámetro sin dimensión dado por la ecuación (7.1)

$$v = 0,0316 \cdot h \cdot \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2}} \quad (7.1)$$

Las pérdidas por difracción en este caso se calculan mediante la ecuación (8.1)

$$A = J(v) + T(m, n) \quad (8.1)$$

Donde:

$J(v)$ : Pérdidas por difracción debido a una arista filo de chuchillo, se calcula con la ecuación (5.1)

$T(m, n)$ : Atenuación adicional debida a la curvatura del obstáculo (dB), se calcula con las ecuaciones (9.1) y (10.1)

Para  $m, n \leq 4$ :

$$T(m, n) = 7,2 \cdot m^{1/2} - (2 - 12,5 \cdot n) \cdot m + 3,6 \cdot m^{3/2} - 0,8 \cdot m^2 \quad (9.1)$$

Para  $m, n > 4$

$$T(m, n) = -6 - 20 \log(m \cdot n) + 7,2 \cdot m^{1/2} - (2 - 17 \cdot n) \cdot m + 3,6 \cdot m^{3/2} - 0,8 \cdot m^2 \quad (10.1)$$

Donde:

$$m = 0,45708 \frac{d_1 + d_2}{d_1 \cdot d_2} \cdot \left(\frac{R}{f}\right)^{1/3}$$

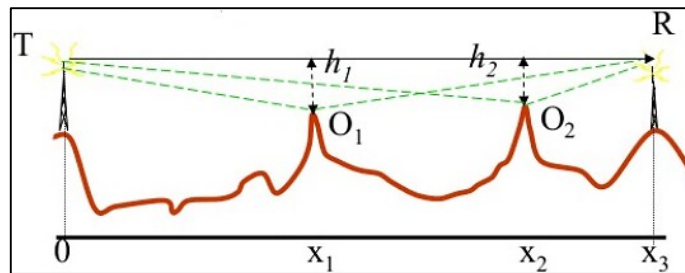
$$n = 4,787 \cdot 10^{-3} \cdot h \cdot f^{2/3} \cdot R^{-1/3} \quad (\text{UIT-R, 2019})$$

### *Dos obstáculos aislados*

El cálculo de las pérdidas ocasionadas en este caso consiste en la aplicación sucesiva de la teoría de difracción en arista de filo de cuchillo a los dos obstáculos, se hace uso de modelos que dan aproximaciones adecuadas para aplicaciones en terreno.

#### ○ Método EMP

Aplicable cuando el rayo TR no corta ninguno de los dos obstáculos, pero existe un despejamiento insuficiente, es decir el obstáculo obstruye el 70% de la primera zona de Fresnel (ver figura 11-1)



**Figura 11-1:** Geometría del método EMP

Fuente: (Sandoval, 2019)

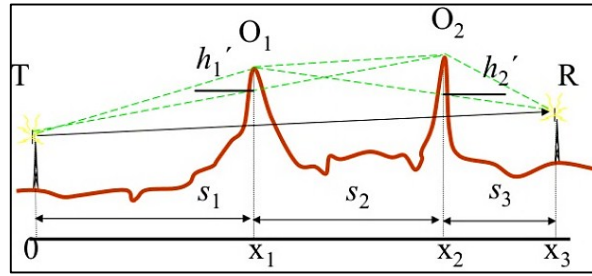
Las pérdidas por difracción en este caso se calculan sumando las pérdidas producidas por cada obstáculo, se expresa mediante la ecuación (11.1)

$$L_D = J(v_1) + J(v_2) \quad (11.1)$$

#### ○ Método Epstein-Peterson

Aplicable cuando el rayo TR corta a los dos obstáculos los cuales tienen alturas similares (ver figura 12-1)





**Figura 12-1:** Geometría del método Epstein-Peterson

Fuente: (Sandoval, 2019)

Las pérdidas por difracción en este caso se calculan sumando las pérdidas causadas en los sub trayectos T-O1-O2 y O1-O2-R y un término de corrección, válido solo cuando las pérdidas en los sub trayectos excedan los 15 dB, se expresa mediante la ecuación (12.1)

$$L_D = J(v'_1) + J(v'_2) + L_c \quad (12.1)$$

Donde:

$J(v'_1)$ : Pérdida del sub trayecto T-O1-O2 interceptado por O1 con una altura  $h'_1$

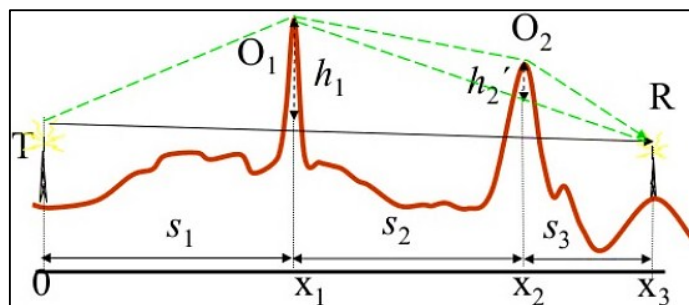
$J(v'_2)$ : Pérdida del sub trayecto O1-O2-R interceptado por O2 con una altura  $h'_2$

$L_c$ : Factor de corrección Mullington calculado con la ecuación (13.1)

$$L_c = 10 \log \frac{(s_1+s_2) \cdot (s_2+s_3)}{s_2 \cdot (s_1+s_2+s_3)} \quad (13.1)$$

o Recomendación UIT-R P.526

Aplicable cuando uno de los dos obstáculos es dominante (ver figura 13-1)



**Figura 13-1:** Geometría del método de la Recomendación UIT-R P.526

Fuente: (Sandoval, 2019)

En este caso se evalúa la influencia del obstáculo dominante con su altura real  $h_1$  en el trayecto total TR, la influencia del otro obstáculo se calcula en el sub trayecto O1-O2-R, se expresa mediante la ecuación (14.1)

$$L_D = J(v_1) + J(v'_2) - L_c \quad (14.1)$$

Donde:

$J(v_1)$ : Pérdida del trayecto T-O1-R con una altura  $h_1$

$J(v'_2)$ : Pérdida del sub trayecto O1-O2-R interceptado por O2 con una altura  $h'_2$

$L_c$ : Factor de corrección calculado con la ecuación (15.1)

$$L_c = \left[ 12 - 20 \log \left( \frac{2}{1 - \alpha/\pi} \right) \right] \cdot \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{2v_1} \quad (15.1)$$

Si los obstáculos son aislados e independientes  $\alpha$  se calcula mediante la ecuación (16.1), en caso de ser obstáculos redondeados se deberá calcular con el método descrito en esa sección

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{S_2 \cdot (S_1 + S_2 + S_3)}{S_1 \cdot S_3} \right]^{1/2} \quad (16.1)$$

#### *Múltiples obstáculos*

Se recomienda el uso del método Deygout modificado, el procedimiento es descrito a continuación:

- Determinar el obstáculo dominante, es decir, el que cause mayor atenuación ( $v_p$ ), con este obstáculo se forman dos sub trayectos, uno del lado del transmisor y otro del lado del receptor.
- En cada sub trayecto se determina el obstáculo dominante, la atenuación  $v_t$  y  $v_r$  correspondiente a cada uno de los obstáculos en el lado del transmisor y receptor.
- La pérdida cuando  $v_p > -0,78$  se calcula mediante la ecuación (17.1)

$$L = J(v_p) + T \cdot [J(v_t) + J(v_r) + C] \quad (17.1)$$

Donde:

$$T = 1 - e^{\left[ \frac{-J(v_p)}{6} \right]}$$

$$C = 10 + 0,04 \cdot d \text{ (km)}$$

#### *d. Difracción sobre tierra esférica*

La propagación se produce por el discurrir del rayo incidente por un terreno liso o con poca ondulación (mares, lagos y llanuras) además se tiene un despejamiento insuficiente o alguna obstrucción producida por la redondez de la Tierra, es aplicable si el ángulo de incidencia es menor al valor límite denotado en la ecuación (1.1).

La atenuación depende de las características del terreno, la polarización de onda, las alturas de las antenas y la distancia. Los dos primeros factores se reflejan en un factor normalizado de admitancia de superficie que se calcula mediante las ecuaciones (18.1) y (19.1)

$$\text{Para polarización horizontal: } K_H = 0,36(R.f)^{-1/3} \cdot \left[ (\epsilon_r - 1)^2 + (18000 \cdot \sigma/f)^2 \right]^{-1/4} \quad (18.1)$$

$$\text{Para polarización vertical: } K_v = K_H \cdot \left[ \epsilon_r^2 + (18000 \cdot \sigma/f)^2 \right]^{1/2} \quad (19.1)$$

Donde:

K: Factor normalizado de admitancia de superficie

R: Curvatura de tierra ficticia

$R = kR_0$ ; k factor de modificación de radio terrestre y  $R_0=6370$  (km)

$\epsilon_r$ : Permitividad eléctrica del terreno

$\sigma$ : Conductividad eléctrica del terreno

Las pérdidas se calculan dependiendo del alcance de enlace, para distancias más allá de horizonte, la pérdida se calcula mediante la ecuación (20.1)

$$L_D = -F(X) - G(Y_1) - G(Y_2) \quad (20.1)$$

Donde:

Término de distancia:  $F(X) = 11 + 10 \log(X) - 17,6X$

Término de ganancia de altura:

$$G(Y) = 17,6(Y - 1,1)^{1/2} - 5 \log(Y - 1,1) - 8 \quad ; Y > 2$$

$$G(Y) = 20 \log(Y + 0,1Y^3) \quad ; 10K < Y < 2$$

$$G(Y) = 2 + 20 \log K + 9 \log(Y/K) \cdot [\log(Y/K) + 1] \quad ; K/10 < Y < 10K$$

$$G(Y) = 2 + 20 \log K \quad ; Y < K/10$$

Con:

$$X = 2,2 \cdot \beta \cdot f^{1/3} \cdot R^{-2/3} \cdot d$$

$$Y = 9,6 \times 10^{-3} \cdot \beta \cdot f^{2/3} \cdot R^{-1/3} \cdot h$$

Donde:

d: Distancia del enlace (km)

h: Altura de las antenas;  $h_t$  para  $Y_1$  y  $h_r$  para  $Y_2$  (m)

f: Frecuencia (MHz)

$$\text{Para todas las frecuencias en polarización horizontal: } \beta = \frac{1+1,6K^2+0,75K^4}{1+4,5K^2+1,35K^4}$$

Para  $f > 20$  MHz sobre tierra y  $f > 300$  MHz sobre mar en polarización vertical:

$$\beta = 1$$

Para  $f < 20$  MHz sobre tierra y  $f < 300$  MHz sobre mar en polarización vertical:

$$\beta = \frac{1+1,6K^2+0,75K^4}{1+4,5K^2+1,35K^4} \text{ con } K^2 = 6,89 \frac{\sigma}{k^{2/3} \cdot f^{5/3}}$$

Para distancias inferiores a la del horizonte la pérdida se calcula mediante la ecuación (21.1)

$$L_D = \left(1 - \frac{5 \cdot h}{3 \cdot R_1}\right) \cdot L_h \quad (21.1)$$

Donde:

h: Despejamiento evaluado en el punto de reflexión

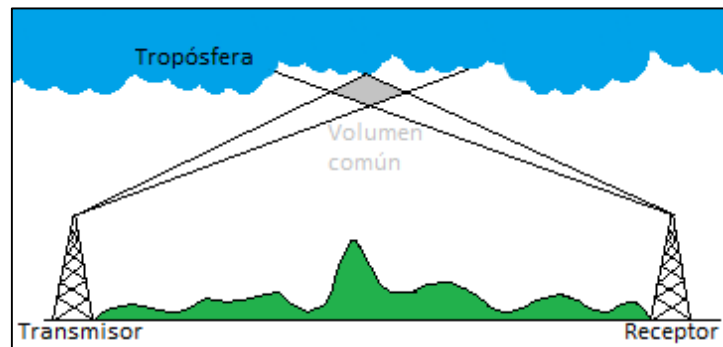
$$h = \left(\frac{h'_t \cdot d_2 + h'_r \cdot d_1}{d}\right) \text{ Con } h'_t = h_t - \frac{4d_1^2}{51k} \text{ y } h'_r = h_r - \frac{4d_2^2}{51k}$$

$R_1$ : Primer radio de Fresnel en el punto de reflexión

$L_h$ : Pérdida por difracción calculada con la ecuación (20.1) (Hernando Rábanos, Mendo y Riera, 2008, p. 172-175)

#### 1.1.3.4. *Dispersión*

Fenómeno causado por irregularidades en la capa troposférica, la dispersión tiene lugar en el “volumen común” (ver figura 14-1) que se forma por la intersección de los haces de la antena transmisora y receptora.



**Figura 14-1:** Dispersión troposférica

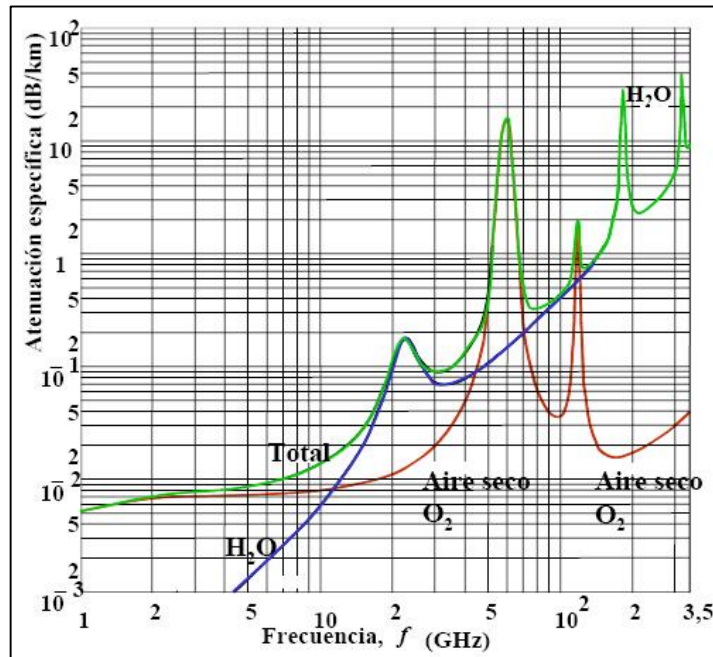
Realizado por: Gómez, 2021

La propagación dada en esta modalidad es posible para frecuencias mayores a 100 MHz, se obtiene un alcance superior a la del horizonte radioeléctrico (radioenlaces transhorizonte), a diferencia de la difracción, la señal no se atenúa rápidamente, sin embargo si presenta varios desvanecimientos debidos al multitrayecto, por lo que es necesario la recepción por diversidad. Con este tipo de propagación las señales presentan una gran variedad temporal, las pérdidas vienen debido a parámetros meteorológicos y atmosféricos, se definen 8 tipos de climas en el estudio de su propagación. (Hernando Rábanos, Mendo y Riera, 2008, p. 188-192)

#### 1.1.3.5. *Absorción*

Fenómeno causado por las partículas existentes en la atmósfera terrestre, específicamente en la tropósfera, al estar formada por distintos átomos y moléculas, estas absorben la energía de las ondas electromagnéticas, al ser absorbida esta energía se pierde para siempre causando atenuación a la señal, las condiciones atmosféricas anormales como lluvias intensas absorben más energía.

La absorción depende de la frecuencia y la distancia del radioenlace, es significativa para frecuencias superiores a 10 GHz, en la figura 15-1 se muestra la absorción atmosférica debida al oxígeno ( $O_2$ ) y al vapor de agua ( $H_2O$ ). (Tomasi et al. 2003, p. 352)



**Figura 15-1: Absorción atmosférica**

Fuente: Acosta, 2018

#### **1.1.4. Modelos de propagación**

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos que son usados para la estimación de valores de la señal que se propaga por el medio, son aplicables bajo ciertas características como son el rango de frecuencia, distancia entre el transmisor y receptor, altura de las antenas, tipo del terreno (liso, montañoso), el entorno (urbano, suburbano, rural), características atmosféricas (índice de refracción, intensidad de lluvia), propiedades eléctricas del suelo (conductividad, permitividad, constante dieléctrica), entre otros. Se dividen en tres categorías:

- Modelos determinísticos o teóricos: Se basan en expresiones matemáticas, siguen los principios de los fenómenos de propagación, producen los mismos resultados en condiciones similares.
- Modelos empíricos o estadísticos: Se sustentan en resultados experimentales y mediciones realizadas en campo bajo condiciones diferentes de recepción.
- Modelos semi-determinísticos: Usan una combinación entre expresiones matemáticas y mediciones realizadas para el cálculo de los niveles de intensidad de campo en función de la ubicación del punto de recepción. (Ceron y Vega, 2010)

##### **1.1.4.1. Recomendación UIT-R P.525**

Modelo determinístico de propagación, también conocido como modelo de propagación de espacio libre, corresponde a un caso ideal donde se considera que no existen obstáculos en el trayecto que causen atenuación de la señal. En radiodifusión, el espacio libre es el medio de

transmisión que se ve afectado por los fenómenos atmosféricos causando la absorción de la energía radioeléctrica. (Ceron y Vega, 2010)(Gaona, López y Gómez, 2020)

En la recomendación UIT-R P.525-3 se establece dos formas distintas para el cálculo de la propagación por el espacio libre, cada una de las cuales se adapta a un tipo de servicio en particular, se tiene expresiones para el cálculo en enlaces punto a zona, punto a punto y radar.

*a. Enlaces punto a zona*

Caso en el que un solo transmisor da servicio a varios receptores distribuidos al azar dentro de un área de cobertura, el campo eléctrico se calcula en un punto situado a una cierta distancia del transmisor mediante la ecuación (22.1)

$$E_{[dBuV/m]} = 104.76 + PIRE - 20 \log (d) \quad (22.1)$$

Donde:

$E$ : Intensidad de campo

$PIRE$ : Potencia isotrópica radiada del transmisor (dBk)

$d$ : Distancia del transmisor al punto considerado (km)

*b. Enlaces punto a punto*

En este caso, de preferencia se calcula la atenuación en el espacio libre, denominada pérdida básica de transmisión en el espacio libre, se expresa mediante la ecuación (23.1)

$$L_{bf} = 32.45 + 20 \log (f) + 20 \log (d) \quad (23.1)$$

Donde:

$L_{bf}$ : Pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB)

$f$ : Frecuencia del enlace (MHz)

$d$ : distancia del transmisor al punto considerado (km)

Sin embargo, es posible calcular la intensidad del campo eléctrico en función de la potencia en el receptor, se calcula mediante la ecuación (24.1)

$$E_{[dBuV/m]} = P_r + 20 \log (f) + 77.2 \quad (24.1)$$

Donde:

$E$ : Intensidad de campo

$P_r$ : Potencia de recepción (dBm), se aplica balance del enlace.

$f$ : Frecuencia (MHz) (UIT, 2016) (Ceron y Vega, 2010)

*1.1.4.2. Modelo Longley-Rice*

Modelo estadístico de propagación desarrollado en 1968 por Anita Longley y Phil Rice en el Intitute for Telecommunication Sciences (ITS) - EE. UU, también conocido como modelo ITM (Irregular Terrain Model). Los rangos de validez del modelo se detallan en la tabla 1-1.

**Tabla 1-1:** Rangos de validez del modelo Longley-Rice

Parámetros	Valor
Rango de frecuencia	20 MHz – 20 GHz
Distancia del enlace	1 -2000 km
Altura de las antenas	0,5 – 3000 m
Polarización de la onda	Horizontal o vertical

Fuente: (Cano, 2013)

El modelo predice la atenuación media de la señal radioeléctrica en función de la distancia y la variabilidad de la misma en el tiempo y en el espacio, es decir, el modelo está en función de la altura media del terreno, la conductividad y permitividad del suelo, las características refractivas de la tropósfera y las características geométricas del terreno. (Ceron y Vega, 2010) (Cano, 2013).

Los autores de la Nota técnica 101 (RICE et al., 1965), documento donde se define el modelo, desarrollaron un programa informático, actualmente se usa la versión 1.1.1, las variables de entrada que requiere el algoritmo del modelo de manera general se observan en la tabla 2-1. (Hufford, 1984)

**Tabla 2-1:** Variables de entrada del modelo Longley-Rice

Entrada	Descripción
$d$	Distancia entre las dos terminales (km)
$h_{g1}, h_{g2}$	Alturas estructurales de la antena (m)
$k$	Número de onda correspondiente a la portadora o frecuencia central $k = 2\pi/\lambda = f/f_0 \quad (25.1)$ Donde: $f_0 = 47,70 \text{ MHz}$ $\lambda$ : Longitud de onda $f$ : Frecuencia
$\Delta h$	Parámetro de irregularidad del terreno
$N_s$	Refractividad superficial media mensual mínima $N_s = N_0 e^{-Z_s/Z_1}$ Donde: $N_0$ : Refractividad al nivel del mar $Z_s$ : Altura promedio de la región de interés (km) $Z_1 = 9,46 \text{ km}$ Los valores de los índices de refractividad se encuentran en la recomendación UIT-R P.453
$\gamma_e$	Curvatura efectiva de la tierra, recíproca al radio efectivo de la tierra $\gamma_e = \gamma_a/K$ Donde: $\gamma_a$ : Curvatura real de la tierra (km) $K$ : Radio efectivo de la tierra Normalmente se representa por la refractividad de la superficie

	$\gamma_e = \gamma_a(1 - 0,04665 \cdot e^{N_e/N_1}) \quad (26.1)$ <p>Donde:</p> $\gamma_a = 157 \text{ N - units/km}$ $N_1 = 179,3 \text{ N - units}$
$Z_g$	<p>Impedancia de transferencia de superficie del suelo, definida en términos de la permitividad relativa y la conductividad del suelo y la polarización de la onda</p> $Z_g = \begin{cases} \sqrt{\varepsilon'_r - 1}; \text{ Polarización horizontal} \\ \sqrt{\varepsilon'_r - 1}/\varepsilon'_r; \text{ Polarización vertical} \end{cases} \quad (27.1)$ <p>Donde:</p> <p><math>\varepsilon'_r</math>: Permitividad relativa compleja <math>\varepsilon'_r = \varepsilon_r + iZ_0\sigma/k</math></p> <p>Donde:</p> $Z_0 = 376,62\Omega$ <p><math>\sigma</math>: Conductividad</p> <p><math>\varepsilon_r</math>: Permitividad relativa del suelo</p> <p>Los valores de conductividad y permitividad relativa se encuentran en la recomendación UIT-R P.527</p>
<i>radio climate</i>	Tipo de clima del trayecto

Fuente: (Hufford, 1984)

Realizado por: Gómez, 2021

El algoritmo del modelo cuenta con dos modos de operación

*a. Modo de predicción de zona/área*

Modo aplicable cuando no se tiene datos del perfil del terreno, el modelo implementa diversas técnicas para predecir los parámetros requeridos en el cálculo la pérdida de propagación, particularmente útil en servicios móviles y radiodifusión, es inexacto comparado con el otro modo. (Rubinstein, 2002). Para este modo de predicción del modelo se necesita una variable de entrada adicional la cual se ve en la tabla 3-1.

**Tabla 3-1:** Entradas adicionales del modelo Longley-Rice en modo de predicción de zona

Entrada	Descripción
<i>siting criteria</i>	Criterio que describe el cuidado que se tiene en cada terminal para asegurar buenas condiciones de propagación de radio. Esto se expresa cualitativamente: “random”, “with care” y “with great care”

Fuente: (Hufford, 1984)

Realizado por: Gómez, 2021

*b. Modo de predicción punto a punto*

Modo aplicable en un trayecto fijo, examina la geometría del trayecto radioeléctrico a lo largo del perfil de terreno por donde se propaga la onda. Para este modo de predicción del modelo se necesita de variables de entrada adicionales las cuales se observan en la tabla 4-1.



**Tabla 4-1:** Entradas adicionales del modelo Longley-Rice en modo de predicción punto-punto

Entrada	Descripción
$h_{e1}, h_{e2}$	Alturas efectivas de las antenas (m)
$d_{L1}, d_{L2}$	Distancias de cada terminal a su horizonte (km)
$\theta_{e1}, \theta_{e2}$	Ángulos de elevación de los horizontes de cada terminal a la altura de las antenas (radianes)

Fuente: (Hufford, 1984)

Realizado por: Gómez, 2021

#### *Atenuación de referencia*

Valor resultante del modelo, representa la pérdida ocasionada en la transmisión de la onda, su valor se determina en función de la distancia  $d$ , con ello se establecen 3 regiones de cálculo: Región de línea de vista, región de difracción y región de dispersión, se calcula mediante la ecuación (28.1)

$$A_{ref} = \begin{cases} \max(0, A_{el} + K_1 d + K_2 \ln(d/d_{LS})) & d \leq d_{LS} \\ A_{ed} + m_d d & d_{LS} \leq d \leq d_x \\ A_{es} + m_s d & d_x \leq d \end{cases} \quad (28.1)$$

- Atenuación de referencia para la región de difracción

Aplicable para trayectos con una longitud aproximada al horizonte radioeléctrico ( $d_{LS} \leq d \leq d_x$ ), en este rango la atenuación de referencia definida en la ecuación (28.1) pasa a ser una función lineal, expresada con la ecuación (29.1)

$$A_{ref} = A_{ed} + m_d d \quad (29.1)$$

Donde:

$$m_d = (A_4 - A_3) / (d_4 - d_3) \quad (30.1)$$

$$A_{ed} = A_3 - m_d d_3 \quad (31.1)$$

$$d_3 = \max(d_{LS}, d_L + 1,3787X_{ae})$$

$$d_4 = d_3 + 2,7574X_{ae}$$

$$X_{ae} = (k\gamma_e^2)^{-1/3} \quad (32.1)$$

$$A_3 = A_{diff}(d_3)$$

$$A_4 = A_{diff}(d_4)$$

El término  $A_{diff}$  se calcula mediante la ecuación (33.1)

$$A_{diff}(s) = (1 - w) \cdot A_k + w \cdot A_r + A_{f_0} \quad (33.1)$$

Donde:

Factor de peso  $w$

$$w = \frac{1}{1 + 0,1\sqrt{Q}}$$

$$Q = \min\left(\frac{k}{2\pi}\Delta h(s), 1000\right)\left(\frac{h_{e1}h_{e2} + C}{h_{g1}h_{g2} + C}\right)^{1/2} + \frac{d_L + \theta_e/\gamma_e}{s}$$

$$\Delta h(s) = (1 - 0,8e^{-s/D})\Delta h; D = 50 \text{ km} \quad (34.1)$$

$$h_{ej} = h_{gj}; \text{Siting criteria} = \text{"random"}; j = 1,2 \quad (35.1)$$

$$h_{ej} = h_{gj} + B'_j e^{-2h_{gj}/\Delta h} \quad (36.1)$$

$$B'_j = (B_j - H_1) \sin\left(\frac{\pi}{2} \min(h_{g1}/H_2, 1)\right) + H_1$$

$$B_j = \begin{cases} 5 \text{ metros} & \text{Siting criteria} = \text{"with care"} \\ 10 \text{ metros} & \text{Siting criteria} = \text{"with great care"} \end{cases}$$

$$H_1 = 1; H_2 = 5$$

$$C = \begin{cases} 0 & \text{para el modo de predicci3n de 1rea} \\ 10 \text{ m}^2 & \text{para el modo de predicci3n punto a punto} \end{cases}$$

$$d_L = d_{L1} + d_{L2} \quad (37.1)$$

$$d_{Ls} = d_{Ls1} + d_{Ls2}$$

$$d_{Lj} = d_{Lsj} \cdot e^{\left[-0,07 \sqrt{\Delta h / \max(h_{ej}, H_3)}\right]} \quad (38.1)$$

$$H_3 = 5$$

$$d_{Lsj} = \sqrt{2h_{ej}/\gamma_e} \quad ; \quad j = 1,2$$

$$\theta_e = \max(\theta_{e1} + \theta_{e2}, d_L \gamma_e) \quad (39.1)$$

$$\theta_{ej} = \frac{0,65\Delta h(d_{Lsj}/d_{Lj} - 1) - 2h_{ej}}{d_{Lsj}}$$

*s: Distancia*

Atenuaci3n de filo de cuchillo doble  $A_k$

$$A_k = F_n(v_1) + F_n(v_2)$$

$$F_n(v) = 20 \log \left| \frac{1}{\sqrt{2i}} \int_v^\infty e^{i\pi u^2/2} du \right|$$

$$v_j = \frac{\theta}{2} \left( \frac{k d_{Lj}(s - d_L)}{\pi s - d_L + d_{Lj}} \right)^{1/2} \quad ; \quad j = 1,2$$

$\theta$  se calcula con la ecuaci3n (39.1),  $k$  con la ecuaci3n (25.1),  $d_{Lj}$  con la ecuaci3n (37.1),

$d_L$  con la ecuaci3n (36.1)

Atenuaci3n de tierra redondeada  $A_r$

$$A_r = G(x_0) - F(x_1, K_1) - F(x_2, K_2) - C_1(K_0)$$

$$G(x) = 20 \log(x^{-1/2} e^{x/A})$$

$$F(x, K) = 20 \log \left| \left( \pi / (2^{1/3} AB) \right)^{1/2} W_i \left( t_0 - (x / (2^{1/3} AB))^2 \right) \right|$$

$$C_1(K) = 20 \log \left| \frac{1}{2} \left( \pi / (2^{1/3} AB) \right)^{1/2} (2^{2/3} K^2 t_0 - 1) W_i'(t_0)^2 \right|$$

$$\begin{aligned}
x_0 &= AB(K_0)\alpha_0\theta + x_1 + x_2 \\
A &= 151,03 \\
B &= 2^{-1/3}Im\{t_0\} \\
K_j &= \frac{1}{i\alpha_j z_g} \quad ; \quad j = 0,1,2 \\
\alpha_j &= (k/\gamma_j)^{1/3} \quad ; \quad j = 0,1,2 \\
\gamma_j &= 2h_{ej}/d_{Lj}^2 \quad ; \quad j = 1,2 \\
\gamma_0 &= \theta/(s - d_L) \\
\theta &= \theta_e + s\gamma_e \tag{40.1} \\
\theta_e &\text{ se calcula con la ecuación (39.1) } \gamma_e \text{ se calcula con la ecuación (26.1)} \\
x_j &= AB(K_j)\alpha_j\gamma_j d_{Lj} \quad ; \quad j = 1,2 \\
W_i(t_0) &= 2^{1/3}KW'_i(t_0) \\
W_i(z) &= 2Ai(e^{2\pi i/3}z) \\
Ai: &\text{ Función Airy estándar, solución lineal de } w''(z) - zw(z) = 0 \\
\text{Factor de desorden "clutter factor" } &A_{f_0} \\
A_{f_0} &= \min[15,5\log(1 + \alpha kh_{g1}h_{g2}\sigma_h(d_{Ls}))] \\
\alpha &= 4,77 \times 10^{-4} \\
\sigma_h &= 0,78\Delta h(s).e^{[-(\Delta h(s)/H)^{1/4}]} ; H = 16 m \tag{41.1}
\end{aligned}$$

○ Atenuación de referencia para la región de línea de visión

Aplicable para un trayecto dentro del horizonte radioeléctrico ( $d \leq d_{Ls}$ ), en este rango la atenuación de referencia definida en la ecuación (28.1) pasa a ser una función lineal, expresada con la ecuación (42.1)

$$A_{ref} = A_{el} + K_1 d + K_2 \ln(d/d_{Ls}) \tag{42.1}$$

Donde:

$$\begin{aligned}
A_{el} &= A_2 - K_1 d_2 \\
d_2 &= d_{Ls} \\
A_2 &= A_{ed} + m_d d_2 \\
\text{Si } A_{ed} &\geq 0 \\
d_0 &= \min(\frac{1}{2}d_L, 1.908kh_{e1}h_{e2}) \\
d_1 &= \frac{3}{4}d_0 + \frac{1}{4}d_L \\
K_1 &= \begin{cases} K'_1 & K'_1 \geq 0 ; K'_2 \geq 0 \\ 0 & K''_2 \geq 0 ; K'_1 < 0 \\ m_d & \text{en otros casos} \end{cases}
\end{aligned}$$

$$K_2 = \begin{cases} K_2' & K_1' \geq 0 ; K_2' \geq 0 \\ K_2'' & K_2'' \geq 0 ; K_1' < 0 \\ 0 & \text{en otros casos} \end{cases}$$

$$K_2'' = \frac{(A_2 - A_0)}{\ln(d_2/d_0)}$$

$$K_1' = \frac{A_2 - A_0 - K_2' \ln(d_2/d_0)}{d_2 - d_0}$$

$$K_2' = \max \left[ 0, \frac{(d_2 - d_0)(A_1 - A_0) - (d_1 - d_0)(A_2 - A_0)}{(d_2 - d_0) \ln(d_1/d_0) - (d_1 - d_0) \ln(d_2/d_0)} \right]$$

Si  $A_{ed} < 0$

$$d_0 = 1.908kh_{e1}h_{e2}$$

$$d_1 = \max \left( -\frac{A_{ed}}{m_d}, \frac{d_L}{4} \right)$$

$$K_1 = \begin{cases} K_1' & K_2' > 0, \text{ se procede como } A_{ed} \geq 0 \\ K_1'' & K_1'' > 0 ; K_2' = 0 \\ m_d & \text{en otros casos} \end{cases}$$

$$K_2 = 0$$

$$K_1'' = \frac{A_2 - A_1}{d_2 - d_1}$$

$$A_0 = A_{los}(d_0)$$

$$A_1 = A_{los}(d_1)$$

El término  $A_{los}$  se calcula mediante la ecuación (43.1)

$$A_{los} = (1 - w)A_d + wA_t \quad (43.1)$$

Donde:

Factor de peso  $w$

$$w = \frac{1}{(1 + D_1 k \Delta h / \max(D_2, d_{Ls}))}$$

$$D_1 = 47,7 \quad ; \quad D_2 = 10$$

Atenuación de difracción extendida  $A_d$

$$A_d = A_{ed} + m_d s$$

$A_{ed}$  se calcula con la ecuación (30.1),  $m_d$  con la ecuación (31.1)

Atenuación de dos rayos

$$A_t = -20 \log |1 + R_e e^{i\delta}|$$

$$R_e = \begin{cases} R_e' & \text{si } |R_e'| \geq \max(1/2, \sqrt{\sin \psi}) \\ (R_e' / |R_e'|) \sqrt{\sin \psi} & \text{en otros casos} \end{cases}$$

$$R_e' = \frac{\sin \psi - Z_g}{\sin \psi + Z_g} e^{[-k \sigma_h(s) \sin \psi]}$$

$Z_g$  se calcula con la ecuación (27.1),  $\sigma_h$  con la ecuación (41.1)

$$\sin \psi = \frac{h_{e1} + h_{e2}}{\sqrt{s^2 + (h_{e1} + h_{e2})^2}}$$

$$\delta = \begin{cases} \delta' & \delta' \leq \pi/2 \\ \pi - (\pi/2)^2 / \delta' & \text{en otros casos} \end{cases}$$

$$\delta' = \frac{2kh_{e1}h_{e2}}{s}$$

$h_{e1}$  y  $h_{e2}$  se calculan con las ecuaciones (35.1) o (36.1) según corresponda

- Atenuación de referencia para la región de dispersión

Aplicable para un trayecto donde la distancia es ligeramente superior al horizonte radioeléctrico ( $d_x \leq d$ ), en este rango la atenuación de referencia definida en la ecuación (28.1) pasa a ser una función lineal, expresada con la ecuación (44.1)

$$A_{ref} = A_{es} + m_s d \quad (44.1)$$

Donde:

$$A_{es} = A_{ed} + (m_d - m_s)d_x$$

$A_{ed}$  se calcula con la ecuación (30.1),  $m_d$  con la ecuación (31.1)

$$m_s = \frac{A_6 - A_5}{D_s}; D_s = 200$$

$$d_x = \max \left[ d_{Ls}, d_L + X_{ae} \log(kH_s), \frac{A_5 - A_{ed} - m_s d_5}{m_d - m_s} \right]$$

$X_{ae}$  ecuación (32.1),  $H_s = 47,7$

$$d_5 = d_L + D_s$$

$$d_6 = d_5 + D_s$$

$$A_5 = A_{scat}(d_5)$$

$$A_6 = A_{scat}(d_6)$$

El término  $A_{scat}$  se calcula mediante la ecuación (45.1) siempre y cuando el término  $r_j$  (ecuación (46.1)) sea mayor que 0,2

$$A_{scat}(s) = 10 \log(kH\theta^4) + F(\theta_s, N_s) + H_0 \quad (45.1)$$

Donde:

$$H = 47,7$$

$$\theta = \theta_e + \gamma_e s$$

$F(\theta_s, N_s)$ : Función mostrada en la figura 9.1 de la sección 9 de la Nota técnica 101

$H_0$ : Función de ganancia de frecuencia, está en función de  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $n_s$  y  $s_s$ , el cálculo es según las reglas establecidas en la figura 9.3 de la sección 9.3 de la Nota técnica 101

$$r_j = 2k\theta' h_{ej}; j = 1,2 \quad (46.1)$$

$$\theta' = \theta_{e1} + \theta_{e2} + \gamma_e s$$

Si tanto  $r_1$  como  $r_2$  son menores que 0,2, se considera a  $A_{scat}$  como una función no definida o infinita

Factor de asimetría

$$s_s = \frac{d_{L2} + d_s/2}{d_{L1} + d_s/2}$$

$$d_s = s - d_{L1} - d_{L2} \quad ; \quad d_{L1} \text{ y } d_{L2} \text{ se calculan con la ecuación (38.1)}$$

$$s = \begin{cases} d_5 & H_0 < 15 \text{ dB} \\ d_6 & H_0 \geq 15 \text{ dB} \end{cases}$$

Factor de eficiencia de dispersión

$$n_s = \frac{Z_0}{Z_0} \left[ 1 + (0.031 - N_s 2,32 \times 10^{-3} + N_s^2 5,67 \times 10^{-6}) e^{-(z_0/Z_1)^6} \right]$$

$$z_0 = \frac{s_s d \theta'}{(1+s_s)^2} ; Z_0 = 1756 ; Z_1 = 8 \text{ (Hufford, 1984)}$$

Por último, se calcula las pérdidas totales producidas en el trayecto mediante la ecuación (47.1)

$$L_b = L_{bf} + A_{ref} \quad (47.1)$$

Donde:

$L_{bf}$ : Pérdidas del espacio libre, se calcula con la ecuación (23.1)

$A_{ref}$ : Atenuación estimada con el modelo Longley-Rice, se calcula con las ecuaciones (29.1), (42.1) o (44.1) según corresponda. (Ceron y Vega, 2010)

#### 1.1.4.3. Recomendación UIT-R P. 1546

Modelo estadístico de predicción de propagación punto a zona, presenta una serie de curvas de intensidad de campo para una potencia radiada aparente (P.R.A) de 1 kW, están basadas en datos experimentales realizadas en zonas de clima templado para frecuencias específicas, incluye factores de corrección de los resultados, así como la rugosidad del terreno y el grado de obstrucción de las zonas de Fresnel. Los parámetros del modelo se detallan en la tabla 5-1.

**Tabla 5-1:** Rangos de validez del modelo de la Recomendación UIT-R P.1546

Parámetro	Valor
Rango de frecuencia	30 – 3000 MHz
Distancia del enlace	1 – 1000 km
Altura efectiva de la antena transmisora	< 3000 m
Valores máximos de intensidad de campo	Trayectos terrestres: $E_{m\acute{a}x} = E_{fs}$ Trayectos marítimos: $E_{m\acute{a}x} = E_{fs} + E_{se}$ Donde: $E_{fs} = 106,9 - 20 \log (d)$ $E_{se} = 2,38 \left\{ 1 - e^{-d/8,94} \right\} \log(50/t)$ d: Distancia (km) t: Porcentaje de tiempo

Fuente: (UIT-R, 2009)

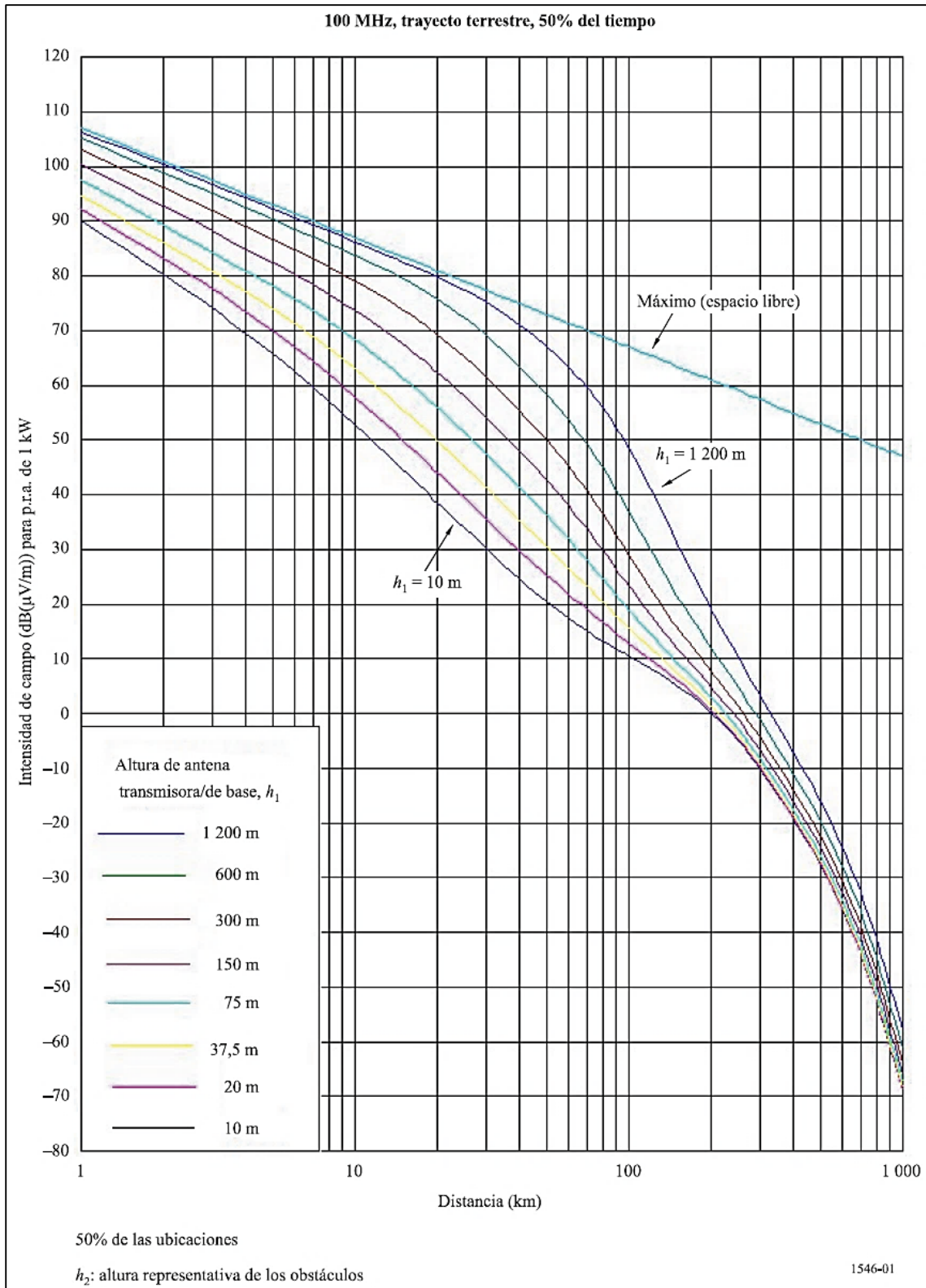
Realizado por: Gómez, 2021

Las curvas de intensidad de campo se dividen a lo largo de la recomendación dependiendo de la frecuencia (100 – 600 – 2000 MHz), el trayecto por donde se propaga la onda (terrestre, marítimo, sobre mares fríos, sobre mares cálidos) y del porcentaje del tiempo (50 – 10 – 1 %).

El anexo 2 abarca la gama de frecuencias de 30 a 300 MHz, da curvas de intensidad de campo para una frecuencia de 100 MHz, aplicando las correcciones necesarias se utiliza estas curvas para el resto de frecuencias de la gama establecida. La figura 16-1 corresponde a un trayecto terrestre con un porcentaje del 50% del tiempo.

El anexo 3 abarca la gama de frecuencias de 300 a 1000 MHz, en este caso da curvas de intensidad de campo para una frecuencia de 600 MHz, de igual manera aplicable para el resto de frecuencias correspondientes a la gama establecida con las correcciones necesarias. La figura 17-1 corresponde a un trayecto marítimo con un porcentaje del 10% del tiempo.

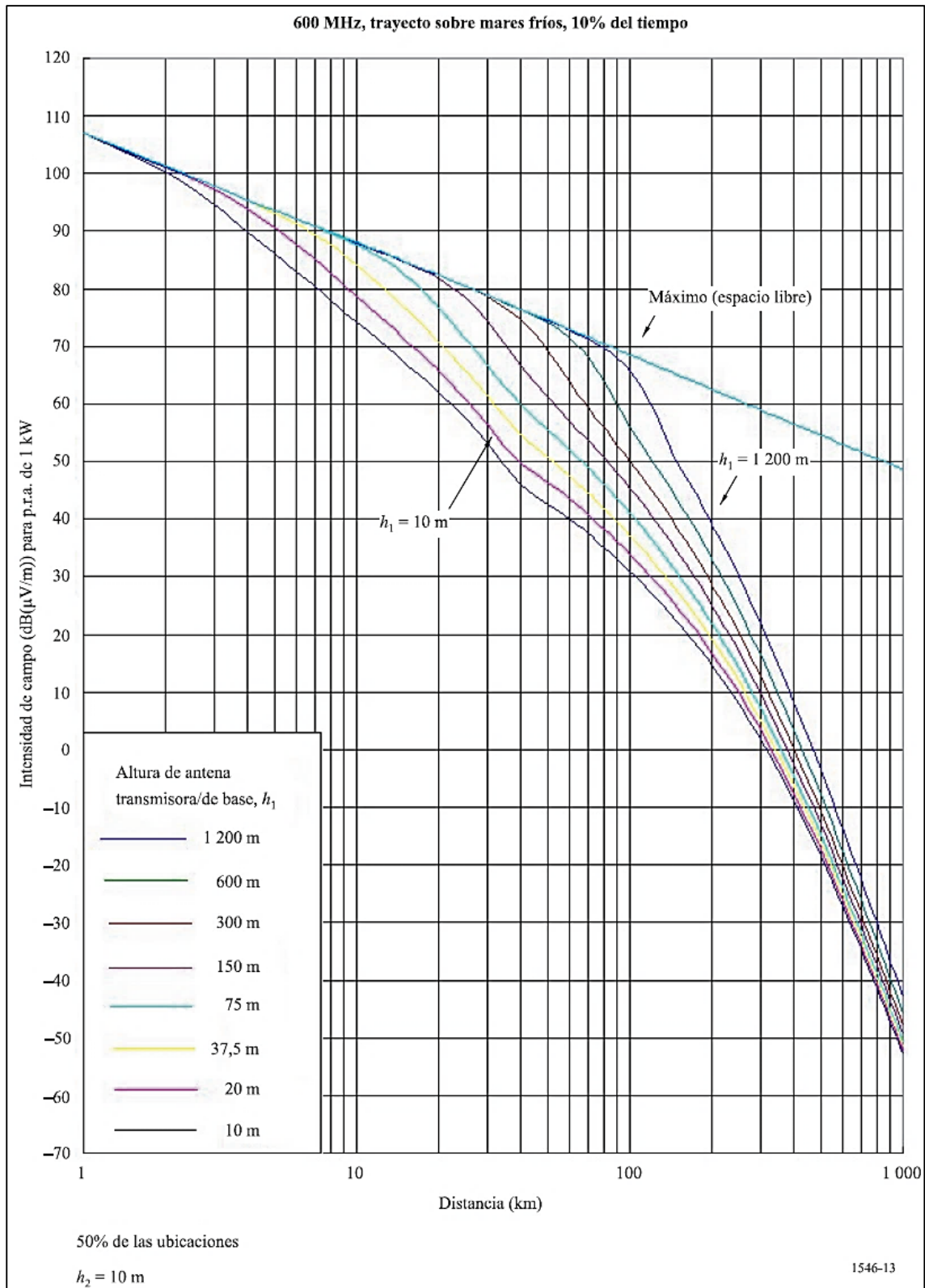
El anexo 4 abarca la gama de frecuencias de 1000 a 3000 MHz, las curvas de intensidad de campo son para una frecuencia de 2000 MHz, de igual manera aplicable para el resto de frecuencias correspondientes a la gama establecida con las correcciones necesarias. La figura 18-1 corresponde a un trayecto sobre mares cálidos con un porcentaje del 1% del tiempo.



**Figura 16-1:** Curva de intensidad de campo para una frecuencia de 100 MHz sobre un trayecto terrestre y con 50% del tiempo

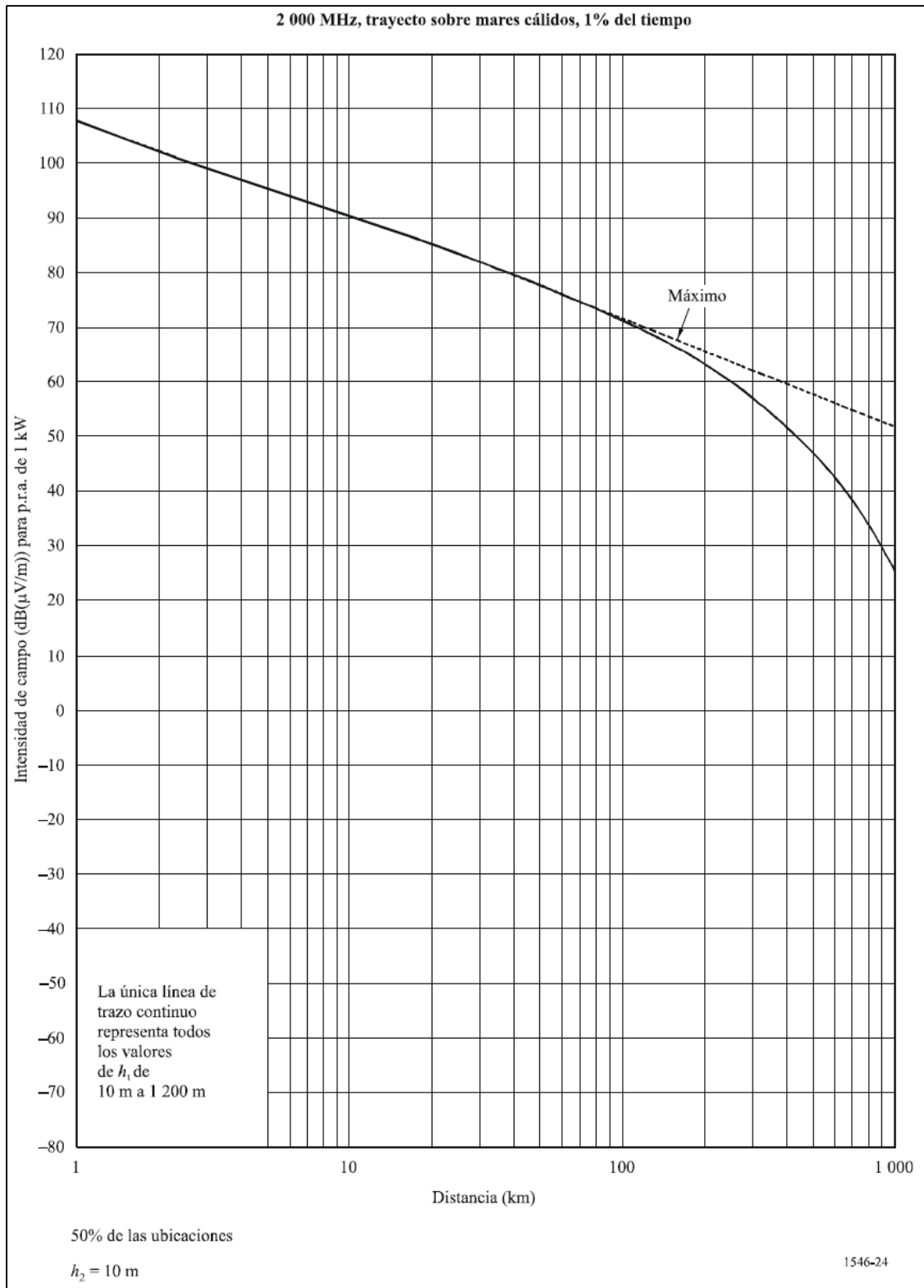
Fuente: (UIT-R, 2009)





**Figura 17-1:** Curva de intensidad de campo para una frecuencia de 600 MHz sobre un trayecto sobre mares fríos y con 10% del tiempo

Fuente: (UIT-R, 2009)



**Figura 18-1:** Curva de intensidad de campo para una frecuencia de 2000 MHz sobre un trayecto sobre mares cálidos y con 1% del tiempo

Fuente: (UIT-R, 2009)

### Interpolación de la intensidad de campo

Para obtener valores de intensidad de campo intermedios de los rangos definidos en las gráficas de los anexos presentados es necesario hacer interpolación, la cual puede calcularse en función de la distancia, de la frecuencia o del porcentaje de tiempo.

- Interpolación de la intensidad de campo en función de la distancia

La gama de distancia de las curvas de intensidad de campo está entre 1 a 1000 km, a menos que la distancia de interés coincida con los valores establecidos en el Cuadro 1 del anexo 5 de la recomendación, se debe hacer una interpolación, la cual se calcula con la ecuación (48.1)

$$E_{[dBuV/m]} = E_{inf} + \frac{(E_{sup} - E_{inf}) \log(d/d_{inf})}{\log(d_{sup}/d_{inf})} \quad (48.1)$$

Donde:

$d$ : Distancia para la que se requiere la predicción

$E_{inf}$ : Valor de intensidad de campo para  $d_{inf}$ ;  $d_{inf}$ : Distancia de la tabulación inferior más cercana a  $d$

$E_{sup}$ : Valor de intensidad de campo para  $d_{sup}$ ;  $d_{sup}$ : Distancia de la tabulación superior más cercana a  $d$

- Interpolación de la intensidad de campo en función de la frecuencia

Las frecuencias nominales son de 100, 600 y 2000 MHz, para obtener el valor de intensidad de campo para la frecuencia de interés se debe interpolar los valores correspondientes a las frecuencias nominales, para la interpolación se hace uso de la ecuación (49.1)

$$E_{[dBuV/m]} = E_{inf} + \frac{(E_{sup} - E_{inf}) \log(f/f_{inf})}{\log(f_{sup}/f_{inf})} \quad (49.1)$$

Donde:

$f$ : Frecuencia para la que se requiere la predicción

$E_{inf}$ : Valor de intensidad de campo para  $f_{inf}$ ;  $f_{inf}$ : Frecuencia nominal inferior

$E_{sup}$ : Valor de intensidad de campo para  $f_{sup}$ ;  $f_{sup}$ : Frecuencia nominal superior

- Interpolación de la intensidad de campo en función del porcentaje de tiempo

Para obtener valores de intensidad de campo para un porcentaje de tiempo distinto de 1, 10 y 50% se debe interpolar los valores nominales del 1 y el 10% o del 10 al 50%, se calcula la interpolación mediante la ecuación (50.1)

$$E_{[dBuV/m]} = \frac{E_{sup}(Q_{inf} - Q_t)}{Q_{inf} - Q_{sup}} + \frac{E_{inf}(Q_t - Q_{sup})}{Q_{inf} - Q_{sup}} \quad (50.1)$$

Donde:

$t$ : Porcentaje de tiempo para la que se requiere la predicción

$$Q_t = Q_t(t/100)$$

$$Q_{inf} = Q_i(t_{inf}/100)$$

$$Q_{sup} = Q_i(t_{sup}/100)$$

$E_{inf}$ : Valor de intensidad de campo para  $t_{inf}$ ;  $t_{inf}$ : Porcentaje de tiempo inferior

$E_{sup}$ : Valor de intensidad de campo para  $t_{sup}$ ;  $t_{sup}$ : Porcentaje de tiempo superior

$Q_i$ : Función de distribución normal acumulativa complementaria inversa, revisar numeral 15 del anexo 5 de la recomendación

### Correcciones

#### o Corrección de la región climática

Las curvas de intensidad de campo dadas en estos anexos están basadas en datos obtenidos en climas templados, para poder aplicar estas curvas en cualquier región climática del mundo se debe hacer una corrección de la gradiente vertical de la refractividad atmosférica, los valores de referencia del gradiente  $dN_0$  vienen dados por: -43,3, -141,9 y -301,3 N/km para campos rebasados durante el 50, 10 y 1% del tiempo respectivamente. Para el ajuste se calcula la diferencia de la gradiente expresada mediante la ecuación (51.1)

$$\Delta N = dN_0 - dN \quad (51.1)$$

Donde:

$dN$ : Gradiente rebasado durante el porcentaje de tiempo de la curva a ajustar, ver recomendación UIT-R P.453

$dN_0$ : Gradiente de referencia para el porcentaje de tiempo de la curva a ajustar

Para más correcciones necesarias, revisar el anexo 5 de la recomendación (UIT-R, 2009)

### 1.1.5. Bandas de frecuencia

El espectro radioeléctrico es la porción del espectro electromagnético que hace posible las radiocomunicaciones, a su vez, se divide en varias porciones a las cuales se le denominan bandas, en la recomendación UIT-R V.431.7 se establece la nomenclatura de diferentes bandas de frecuencia la cual viene dada en función de su frecuencia. (Luque Ordóñez, 2012). En la tabla 6-1 se especifica la nomenclatura de cada banda, su simbología, rango de frecuencias, características de propagación y los servicios de radiocomunicaciones posibles en cada banda.

**Tabla 6-1:** Nomenclatura, características y servicios de las bandas de frecuencia

Banda	Símbolo	Frecuencia	Características	Servicios
-1	ELF	0,03-0,3 Hz	Tasas de transmisión muy bajas Ancho de banda muy pequeño	Comunicaciones con submarinos en aguas profundas
0		0,3-3 Hz		
1		3-30 Hz		
2		30-300 Hz		
3	ULF	300-300 Hz	Tasas de transmisión muy bajas Ancho de banda muy pequeño Habituales en magnetosfera terrestre	Comunicación en minas (sistemas TTE) Comunicaciones militares Radioaficionados (rango limitado)

4	VLF	3-30 kHz	Propagación por onda de superficie con baja atenuación y baja velocidad Gran alcance Penetración del agua (10-40 metros)	Radionavegación Comunicaciones subacuáticas cerca de la superficie del mar
5	LF	30-300 kHz	Propagación por onda de superficie y onda ionosférica con poca atenuación Grandes alcances Penetración del agua	Sistemas de ayuda de navegación marítima y aeronáutica (radiofaros, radiobalizas) Señales horarias Radiodifusión AM (148,5-283,5 KHz) Comunicaciones submarinas Radioaficionados Etiquetado RFID
6	MF	300-3000 kHz	Propagación por onda de superficie o por onda ionosférica (depende de la hora del día y la frecuencia) Grandes distancias	Servicios marítimos y aeronáuticos (radiobalizas, emergencias marítimas, radiotelefonía) Radioaficionados Radiodifusión AM (526,5-1606,5 KHz)
7	HF	3-30 MHz	Propagación por onda ionosférica en óptimas condiciones Alcance limitado por factores como hora del día y estación del año Propagación por onda de superficie en condiciones desfavorables Bandas altas/diurnas (14-30 MHz): Mejor propagación en días de verano Bandas bajas/nocturnas (3-10 MHz): Mejor propagación en noches de invierno Bandas intermedias (10-14 MHz): Características mixtas	Radioaficionados Banda ciudadana (27 MHz) Etiquetado RFID
8	VHF	30-300 MHz	Propagación por onda directa Alcance limitado por línea de vista entre el transmisor y el receptor	Radiodifusión FM (88-108 MHz) Sistemas de ayuda al aterrizaje Radionavegación aérea y control de tráfico aéreo Radioaficionados Televisión analógica
9	UHF	300-3000 MHz	Propagación por onda directa Alcance limitado por línea de vista entre el transmisor y el receptor	Televisión digital terrestre (TDT) Telefonía móvil (GSM, UMTS, LTE) WLAN- Wi-Fi WPAN- Bluetooth
10	SHF	3-30 GHz	Propagación por trayectoria óptica directa	Radares Enlaces satelitales Servicios fijos Wi-Fi 802.11n
11	EHF	30-300 GHz	Propagación afectada por atenuación atmosférica y condiciones climatológicas Regulada hasta los 275 GHz	Radioastronomía Comunicaciones satelitales
12		300-3000 GHz	Propagación por línea de vista	Aún en investigación
13		3-30 THz		
14		30-300 THz		
15		300-3000 THz		

Fuente: UIT, 2000; Luque Ordóñez, 2012

Realizado por: Gómez, 2021

## 1.2. Radiodifusión

La radiodifusión se define como un servicio de radiocomunicación que permite la transmisión de información a través de ondas radioeléctricas, su sistema consta de un único transmisor para múltiples receptores a lo cual se le conoce como difusión, además de ser un sistema unidireccional, es decir, la comunicación se da en un solo sentido del canal (del transmisor al

receptor). En la práctica el servicio de radiodifusión se divide en radiodifusión sonora y radiodifusión televisiva. (Erazo, 2009)

### 1.3. Radiodifusión sonora

La radio ha formado parte importante de la sociedad desde su aparición como un medio de comunicación masivo, durante el paso del tiempo ha sufrido varios cambios, pasando de AM y FM a “radio online”.

#### 1.3.1. Historia de la radiodifusión sonora

1873	James Clerk Maxwell publica su teoría sobre las ondas electromagnéticas
1888	Heinrich Hertz confirma la teoría de Maxwell mediante la generación eléctrica de las esas ondas, sentó las bases para la realización de la telegrafía inalámbrica
1896	Guillermo Marconi transmite una señal inalámbrica con un alcance de 1.6 km
1900	Guillermo Marconi patenta el primer sistema útil de telegrafía sin hilos (TSH) (Huidobro, 2011)
1906	Reginald Aubrey Fessenden emitió el mensaje “Gloria a Dios en el cielo y paz en la tierra a los hombres de buena voluntad” a una frecuencia de 50KHz, 1KW de potencia y alcanzo una distancia de 160 km, fue captado por un barco de la United Fruit.
1912	Primeras emisiones públicas de radio a nivel mundial.
1920	KDKA, primera emisora con servicio regular en el mundo, Pittsburgh – EE.UU, emisiones por onda corta, aparatos de recepción: las radios a galena. <ul style="list-style-type: none"><li>• El parlante desplaza a la radio a galena, la radio pasa de ser unipersonal a ser colectiva</li></ul>
1924	<ul style="list-style-type: none"><li>• Descubrimiento del transistor y el uso de baterías secas hacía del parlante un equipo portable y económico (Ramos y Rincón, 2007)</li></ul>
1925	Primera emisión de prueba de la primera radiodifusora en Ecuador, radio El Prado en la ciudad de Riobamba, transmisión por onda corta
1929	Primera emisión normal de la de la radiodifusora El Prado (Ortiz, 2020)
1933	RCA, New York se hace la primera emisión experimental en FM <ul style="list-style-type: none"><li>• Construcción de emisoras de FM</li></ul>
1946	<ul style="list-style-type: none"><li>• Asignación de la banda VHF para la emisión de FM</li></ul>
1960	Estereofonía en FM, marca la diferencia de recepción de emisiones AM y FM (Ramos y Rincón, 2007)

#### 1.3.2. Clasificación de la radiodifusión sonora

- **Radiodifusión AM:** Denominada así por el método de modulación ocupado para transmitir la onda, el cual es la modulación en amplitud (AM), es el primer método de transmisión por radio, se caracteriza por variar el parámetro de amplitud de la señal portadora en función de

la señal moduladora dando como resultado una señal modulada en amplitud, opera en la banda de 535 a 1605 KHz.

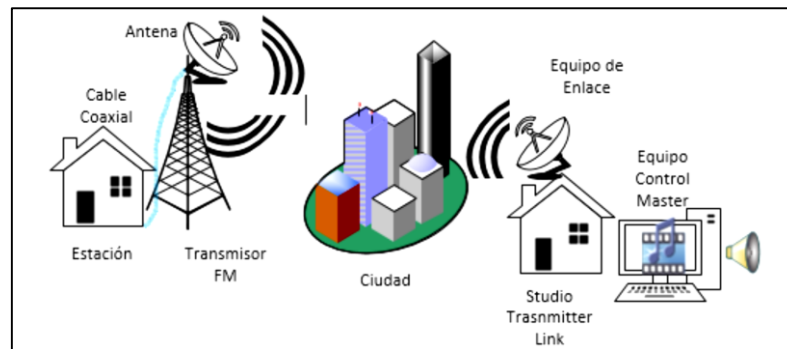
- **Radiodifusión por Onda Corta:** Similar a la radiodifusión AM, utiliza el modo AM y BLU (Banda Lateral Única, variante de AM) para la emisión de las ondas, ofrece una cobertura mayor que AM, opera en la banda comprendida entre 2,3 y 29,9 MHz.

### 1.3.3. Radiodifusión FM

Denominado así por ocupar la modulación en frecuencia (FM), opera en la banda de frecuencias entre 88 y 108 MHz (VHF), es la radiodifusión más usada al día de hoy por las ventajas que presenta sobre la radiodifusión AM. (Erazo, 2009)

#### 1.3.3.1. Elementos de la estación de radiodifusión sonora FM

Una estación de radiodifusión FM se conforma por un transmisor, línea de transmisión, un sistema radiante, equipos de control máster y estudio de producción y los equipos de enlace, como se muestra en la figura 19-1

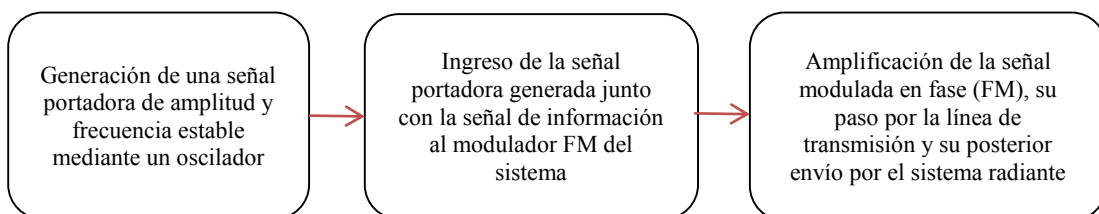


**Figura 19-1:** Elementos de una estación de radiodifusión FM

Fuente: (Martínez y Morán, 2016)

#### a. Transmisor

Componente encargado de generar la señal a emitir, en el apartado 2.2 se habla de que en esta etapa se modula la señal, proceso en el cual la señal es modificada (en este caso específico la señal es modificada en fase), este proceso se puede representar por el diagrama de bloques presentado en la figura 20-1



**Figura 20-1:** Diagrama de bloques de la transmisión FM

Fuente: (Martínez y Caluña, 2016)

*b. Línea de transmisión*

Componente que alimenta a la antena encargada de la emisión de la información, la impedancia que proporciona este elemento debe ser la adecuado para que exista un buen acoplamiento entre el transmisor y la antena y así minimizar las pérdidas de potencia, puede ser un cable coaxial o una guía de onda

*c. Sistema radiante*

Componente constituido por un arreglo de antenas encargadas de la emisión de la información, da lugar a patrones de radiación direccionado a los sectores poblacionales establecidos en el contrato con la persona/institución que desee implementar este servicio de radiodifusión. La altura máxima establecida de los sistemas radiantes es de 36 metros, a menos que se muestre con un estudio de ingeniería la justificación técnica del aumento de la altura, y si este aumento garantiza la calidad del servicio.

*d. Control máster y estudio de producción*

Equipos necesarios para el correcto funcionamiento de la estación, los mismos hacen posibles que se programe las actividades del concesionario, pueden ser elegidos a libertad.

*e. Equipos de enlace*

Transmisores, receptores y antenas deben ajustarse a los parámetros técnicos para garantizar la correcta comunicación evitando provocar interferencias. (ARCOTEL, 2015)

*1.3.3.2. Características técnicas*

La Norma técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica establece las condiciones técnicas para la operación de las estaciones de este servicio en el territorio ecuatoriano, en la tabla 7-1 se observan dichas características.

**Tabla 7-1:** Características técnicas de la radiodifusión sonora FM en Ecuador

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Ancho de banda	Estereofónico: 220 kHz Monofónico: 180 kHz Tolerancia: 5%
Frecuencias banda base para audio	50 Hz – 15 kHz
Separación entre portadoras	400 kHz
Porcentaje de modulación	Monofónicos o estereofónicos: 100% Con una subportadora: 95% Con más de una subportadora: 100%
Potencia Radiada Efectiva (P.E.R)	Se calcula mediante: $P.E.R_{kw} = P_{t(kw)} * 10^{\frac{G_{dBd} - Pérdidas_{dB}}{10}}$ Donde: $P_{t(kw)}$ : Potencia de salida del transmisor $G_{dBd}$ : Ganancia del sistema radiante



	<i>Pérdidas<sub>dB</sub></i> : Correspondientes a la línea de transmisión, conectores y más						
Tolerancia de Frecuencia	± 2 kHz de la portadora principal						
Distorsión armónica	≤ 0,5% con una modulación del 100% para las frecuencias especificadas en el punto 2 de esta tabla						
Estabilidad de la potencia de salida	≥ 95%						
Protección contra interferencias	Atenuación de señales interferentes ≥ 80 dB						
Intensidad de campo mínima a proteger (dBμV/m)	Al borde del área de cobertura principal			Al borde del área de cobertura secundaria			
	Monofónicos ≥ 48 Estereofónicos ≥ 54			30 ≤ Monofónicos < 48 50 ≤ Estereofónicos < 54			
Potencia máxima de salida (KW) de un transmisor FM en función de la ganancia máxima de la antena (dB)	0 dB	3dB	6dB	9dB	12dB	15dB	18dB
	16K W	8KW	4KW	2KW	1KW	0,5K W	0,25K W

Fuente: (ARCOTEL, 2015)

Realizado por: Gómez, 2021

### 1.3.3.3. Ventajas y limitaciones

Las ventajas y limitaciones que tiene la radiodifusión FM se las hace respecto a su antecesora, la radiodifusión AM, las mismas se muestran en la tabla 8-1

**Tabla 8-1:** Ventajas y limitaciones de la radiodifusión FM sobre la radiodifusión AM

Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Menor ruido e interferencia</li> <li>✓ Mejor relación C/I, es decir mejor calidad de sonido</li> <li>✓ Mayor resistencia al desvanecimiento</li> <li>✓ Mayor fidelidad</li> <li>✓ Antenas pequeñas por trabajar en frecuencias muy altas</li> <li>✓ Reutilización de bandas de frecuencias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Mayor ancho de canal</li> <li>✗ Mayor ancho de banda</li> <li>✗ Cobertura limitada por la línea de vista y la difracción</li> </ul>

Fuente: (Martínez y Caluña, 2016)

### 1.3.4. Radiodifusión FM en Riobamba

Las radiodifusoras FM en la ciudad de Riobamba se presentan en la tabla 9-1

**Tabla 9-1:** Listado de radiodifusoras FM con cobertura en Riobamba

Nombre estación FM	Frecuencia (MHz)
PUBLICA FM	88,1
ROMANCE 88.5 FM	88,5
RUMBA STEREO FM	88,9
RIOBAMBA STEREO	89,3
EXA FM	89,7
SULTANA DE LOS ANDES FM	90,1
RADIO CARACOL FM STEREO	91,3
RADIOFÓNICAS ERPE	91,7

RADIO FANTÁSTICA 92.1 FM	92,1
S.A RADIO PASION	92,5
LA VOZ DE RIOBAMBA 92.9 FM	92,9
SUPER ESTEREO FM	93,3
RADIO CULTURAL IDENTIDAD	94,1
CANELA RADIO CORP	94,5
PURUWA STEREO	94,9
STEREO BUENAS NUEVAS 95.3 FM	95,3
RIO 95.7	95,7
MUNDIAL FM	96,1
SOL 96	96,5
RADIO AMOR 96.9 FM	96,9
J.C. RADIO	97,3
TRICOLOR FM	97,7
ALEGRIA FM	98,5
HOLA FM	98,9
RADIO LA OTRA	100,5
LA VOZ DEL VOLCAN	100,9
RADIO TERNURA FM	101,3
RADIO LA VOZ DE AIIECH	101,7
LATINA FM	102,1
CUMBRE 102.5 FM	102,5
SKY RADIO	102,9
EL PRADO FM	103,3
RADIO SONORAMA FM	103,7
RADIO MARIA	104,1
PAZ Y BIEN	104,5
RADIO FUTURA	104,9
LA RADIO DE LA ASAMBLEA NACIONAL	105,3
CATOLICA RIOBAMBA	105,7
ANDINA FM	106,1
RADIO CIUDAD	106,5
RADIO PANAMERICANA	106,9
STEREO FAMILIAR	107,3
POSITIVA	107,7

Fuente: (ARCOTEL, 2021)  
Realizado por: Gómez, 2021

## 1.4. Radiodifusión televisiva

La radiodifusión televisiva al igual que la radiodifusión sonora es uno de los medios más populares debido a que el servicio es gratuito y existe una amplia variedad de programas a escoger entre los diferentes canales de televisión.

### 1.4.1. Historia de la televisión

Siglo XIX	Descubrimiento de la fototelegrafía
1884	Paul Nipkow patenta un disco de exploración lumínica conocido como Disco de Nipkow
1900	El término televisión es usado por primera vez en el congreso internacional de electrónica, significa visión a distancia
1923	<ul style="list-style-type: none"><li>• John Logie Baird desarrolla y perfecciona el disco de Nipkow a base de células de selenio</li><li>• Vladimir Zworykin inventa el iconoscopio el cual captaba imágenes</li><li>• Philo Taylor Farnsworth inventa el tubo disector de imágenes</li></ul>
1926	John Logie Baird inventa un sistema de televisión que incorporaba los rayos infrarrojos para captar imágenes en la oscuridad
1928	<ul style="list-style-type: none"><li>• Primera emisión de imágenes exploradas (películas), con una definición de 48 líneas y con cierta regularidad por parte de la estación experimental W3XK, Washington – EE.UU</li><li>• Baird logra transmitir imágenes desde Londres hasta New York, demuestra la TV a color, TV en estéreo y TV exterior con luz natural</li></ul>
1929	Primeras transmisiones oficiales por parte de la BBC, definición del equipo de 30 líneas, canal de radiodifusión ocupado totalmente por la señal de video.
1930	Primera transmisión simultánea de audio y video (Huidobro, 2011)
1960	Primera emisión televisiva en Ecuador, canal 4, RTS, Guayaquil, por parte de Linda Zambrano y Horts Rosembaum (Guerrero, 2010)

### 1.4.2. Elementos de la estación de televisión analógica

#### a. Estación de televisión matriz

Conjunto de estudios, enlace, transmisor, sistema radiante e instalaciones accesorias, necesarias para prestar un servicio de televisión en una determinada área de servicio.

#### b. Repetidora

Instalación de televisión que recepta la totalidad de la programación que es transmitida en la estación matriz y la retransmite simultáneamente para recepción directa por el público en general.

c. *Sistema de televisión*

Conformado por la estación de televisión matriz y sus repetidoras, destinadas a emitir la misma y simultánea programación con carácter permanente.

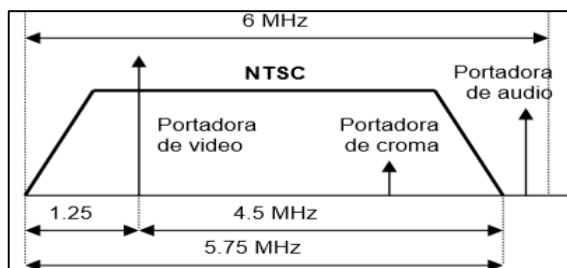
d. *Estudio de televisión*

Se clasifica en estudios principales, estudios secundarios y estudios móviles. Los estudios principales son el área física cubierta y equipada (con cámaras, micrófonos, grabadoras y reproductoras, consolas de edición y operación, equipos de enlace, más equipos e instalaciones), desde el cual se origina la programación de televisión, que es transmitida por la estación de televisión matriz y recibe la contribución de los estudios secundarios, móviles o asociados.

Los estudios secundarios son aquellos localizados dentro de una de las áreas de cobertura, que pueden funcionar con carácter permanente o temporal y destinados a programación específica y los estudios móviles son aquellos que emiten programación con equipos instalados en vehículos o en sitios específicos del territorio nacional, tienen programación de carácter ocasional y utilizan como enlaces frecuencias auxiliares, satelitales u otros sistemas. (ARCOTEL, 2015)

e. *Sistema de transmisión*

Se establece el uso del sistema M/NTSC de 525 líneas, utiliza 6 MHz de ancho de banda por canal, contiene la señal de video, la señal de color y la señal de audio y las correspondientes bandas de guardia distribuidos como se lo muestra en la figura 21-1 (Salazar, 2016)



**Figura 21-1:** Espectro analógico del estándar NTSC

Fuente: (Salazar, 2016)

**1.4.3. Características técnicas**

La Norma técnica para el servicio de televisión analógica establece las condiciones técnicas para la operación de las estaciones de este servicio en el territorio ecuatoriano, en la tabla 10-1 se observan dichas características.

**Tabla 10-1:** Características técnicas de la televisión analógica en Ecuador

Parámetro	Valor		
		Televisión VHF	Televisión UHF
Bandas de frecuencias	Banda I	54 – 72 MHz	
		76 – 88 MHz	
	Banda III	174 – 216 MHz	

	Banda IV		500 – 608 MHz 614 – 644 MHz
	Banda V		644 – 686 MHz
Intensidad de campo mínima a proteger		Al borde del área de cobertura principal	Al borde del área de cobertura Secundaria
	Banda I	47 dB $\mu$ V/m	68 dB $\mu$ V/m
	Banda III	56 dB $\mu$ V/m	71 dB $\mu$ V/m
	Banda IV y V	64 dB $\mu$ V/m	74 dB $\mu$ V/m
Relación de protección señal deseada/señal no deseada	Relación de protección para la señal de imagen		Relación de protección para la señal de imagen
	Interferencia co-canal, separación entre portadoras:	Inferior a 1KHz: 45dB	28dB
		1/3, 2/3, 4/3 o 5/3 de la frecuencia de línea: 28dB	
	Interferencia de canales adyacentes	Del canal inferior: -6dB	
Del canal superior: -12dB			
Potencia radiada máxima	Valor que genera una intensidad de campo menor al valor mínimo a proteger y cumpla con la relación de protección de señal deseada/señal no deseada		
Ancho de banda del canal	6MHz		

Fuente: (ARCOTEL, 2015)

Realizado por: Gómez, 2021

#### 1.4.4. Ventajas y limitaciones

Hoy en día está en tendencia la televisión digital terrestre TDT la cual ha ido desplazando de a poco a la televisión analógica, por las características ventajosas que presenta esta tecnología, por lo cual este análisis se lo hará respecto a su predecesora, en la tabla 11-1 se observan las ventajas y limitaciones de la televisión analógica

**Tabla 11-1:** Ventajas y limitaciones de la televisión analógica

Ventajas	Limitaciones
La televisión analógica es TV abierta, cualquier persona puede hacer uso de este servicio “Basta tener el aparato y encenderlo”	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Gran cantidad de interferencia</li> <li>✗ Saturación del espectro radioeléctrico</li> <li>✗ Transmisión de una señal por un canal asignado</li> </ul>

Fuente: (Promstall, 2018)

#### 1.4.5. Televisión analógica en Riobamba

Las televisoras con cobertura en la ciudad de Riobamba se presentan en la tabla 12-1

**Tabla 12-1:** Listado de televisoras VHF con cobertura en Riobamba

Nombre televisora	Frecuencia (MHz)	Canal
TELEVISORA NACIONAL	57	2
TELEAMAZONAS	69	4
CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION	79	5
ECUADOR TV	175,25	7
RED TELESISTEMA (R.T.S)	183	8

TELERAMA	183	8
TELEVISION DEL PACIFICO	189	9
RED TELESISTEMA (R.T.S)	201	11

Fuente: (ARCOTEL, 2021)

Realizado por: Gómez, 2021

## 1.5. Software de procesamiento de datos

### 1.5.1. Software R

Lenguaje de programación open source orientado al análisis estadístico y gráfico, consiste en un conjunto de herramientas flexibles las cuales pueden ser ampliadas mediante paquetes, librerías o definiendo las funciones que uno necesite. Presenta las siguientes características:

- Gratuito y con 6817 paquetes disponibles.
- Avalado por una sólida comunidad científica.
- Software estadístico más utilizado en las universidades del mundo.
- Compatible con dispositivos Mac, Windows y Linux.
- Capacidad suficiente para el procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos.

(Astudillo, 2021)

### 1.5.2. Matlab

Lenguaje de alto desempeño diseñado para realizar cálculos técnicos, herramienta que integra el cálculo, la visualización y la programación en un ambiente fácil de utilizar donde los problemas y las soluciones se expresan en una notación matemática, también, es un sistema interactivo cuyo elemento básico de datos es el arreglo que no requiere de dimensionamiento previo. Esto permite resolver muchos problemas computacionales, específicamente aquellos que involucren vectores y matrices, en un tiempo mucho menor al requerido para escribir un programa en un lenguaje escalarno interactivo tal como C o Fortran. Aplicaciones de Matlab:

- Cálculos numéricos.
- Desarrollo de algoritmos.
- Análisis de datos, exploración y visualización. (Esqueda, 2002)

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se detalla la metodología aplicada para la obtención de los valores de intensidad de campo tanto medidos como teóricos. Se describe la selección de los entornos, los equipos utilizados y la configuración de los mismos, de igual manera los cálculos de los parámetros necesarios para la obtención de los valores teóricos de los modelos de propagación.

#### 2.1. Mediciones

##### 2.1.1. Evaluación del entorno de medición

###### 2.1.1.1. Entorno de medición dentro de la ciudad de Riobamba

Según el manual de propagación de las ondas radioeléctricas (Rubinstein, 2002, p. 40) se recomienda hacer al menos 5 mediciones de terreno en al menos 15 distancias diferentes respecto al transmisor, en zonas de cobertura que representen las condiciones de propagación típica de la región.

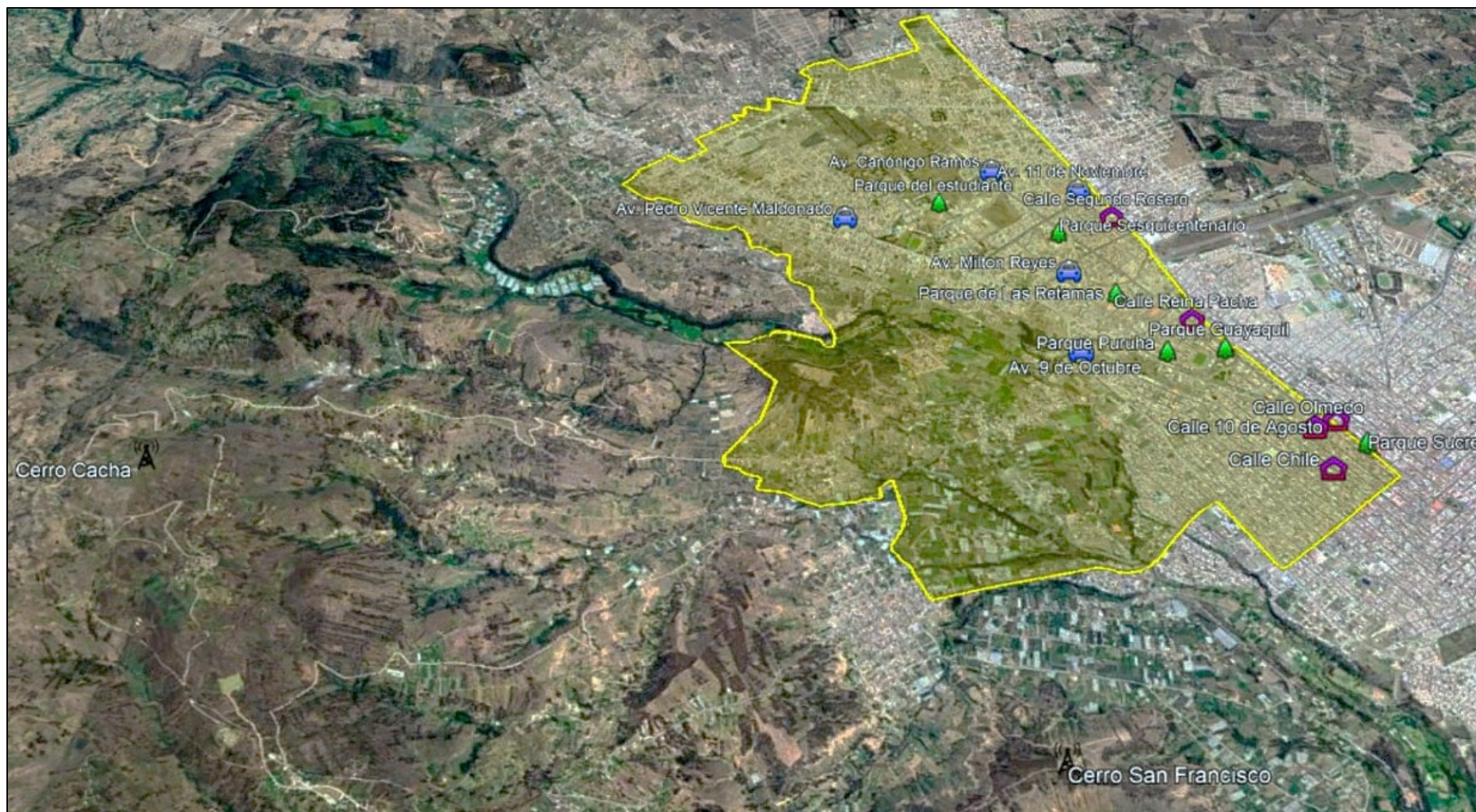
En este trabajo las mediciones se realizaron dentro de la zona urbana de la ciudad de Riobamba, específicamente en la parroquia Lizarzaburu. Para tener resultados más acordes a la propagación real que tienen las ondas radioeléctricas de radiodifusión y televisión dentro de la ciudad se consideró tres entornos:

- El primero entorno fue un área con vegetación, se consideró parques en diferentes locaciones.
- El segundo fue un entorno despejado, en el cual se consideró calles amplias donde la presencia de vegetación y edificaciones en sus alrededores fue despreciable.
- El tercer entorno considera la presencia de edificaciones, donde las mismas tienen una altura y densidad considerable.

En total se consideró 16 locaciones distribuidas de manera equitativa para cada entorno presentado, entonces se tuvo 6 locaciones del primer entorno, 5 del segundo y 5 del tercero.

En el mapa mostrado en la figura 1-2 se observan las ubicaciones de las locaciones, cada una etiquetada de diferente color para su distinción, la etiqueta verde distingue al primer entorno, la etiqueta azul distingue al segundo y la etiqueta morada distingue al tercero.





**Figura 1-2:** Mapa de la parroquia Lizarzaburu con los puntos de medición establecidos.

Realizado por: Gómez, 2021



En la tabla 1-2 se tiene la ubicación geográfica de cada locación con su respectiva latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar.

**Tabla 1-2:** Ubicaciones geográficas de los lugares de medición

Nombre del lugar	Etiqueta	Ubicación geográfica		
		Latitud	Longitud	Altura (msnm)
Cerro San Francisco (Tx)	Amarillo	1°41'47.4"S	78°39'59.6"O	3527
Cerro Cacha (Tx)	Amarillo	01°41'28"S	78°42'55"O	3540
Parque Sesquicentenario	Verde	1°39'29.39"S	78°40'10.60"O	2798.64
Parque Guayaquil	Verde	1°39'58.17"S	78°39'32.05"O	2768.76
Parque Las Retamas	Verde	1°39'46.52"S	78°39'56.45"O	2785.09
Parque Puruhá	Verde	1°40'1.77"S	78°39'44.46"O	2775.01
Parque Sucre	Verde	1°40'19.13"S	78°39'2.79"O	2753.01
Parque del Estudiante	Verde	1°39'25.16"S	78°40'39.26"O	2812.02
Av. 9 de Octubre	Azul	1°40'5.05"S	78°40'2.96"O	2772.85
Av. Milton Reyes	Azul	1°39'41.29"S	78°40'7.38"O	2789.44
Av. Vicente Maldonado	Azul	1°39'34.46"S	78°41'0.33"O	2814.60
Av. Canónigo Ramos	Azul	1°39'10.60"S	78°40'28.31"O	2815.47
Av. 11 de Noviembre	Azul	1°39'13.34"S	78°40'7.22"O	2810.06
Calle 10 de Agosto	Morado	1°40'13.93"S	78°39'8.94"O	2759.28
Calle Chile	Morado	1°40'27.50"S	78°39'9.93"O	2760.10
Calle Olmedo	Morado	1°40'17.03"S	78°39'13.37"O	2760.60
Calle Segundo Rosero	Morado	1°39'21.53"S	78°39'58.84"O	2809.97
Calle Reina Pacha	Morado	1°39'50.93"S	78°39'39.37"O	2771.70

Realizado por: Gómez, 2021

### 2.1.1.2. Elección de radiodifusoras y televisoras para las mediciones

En Riobamba existen diversas radiodifusoras y televisoras que dan cobertura a la ciudad, como se muestran en las tablas 9-1 y 12-1 respectivamente, con un total de 43 radiodifusoras y 8 televisoras en la banda de VHF.

Con el fin de obtener datos confiables fue necesario elegir adecuadamente las radiodifusoras y televisoras, para lo cual se tomó en cuenta los siguientes criterios para su elección:

- En caso de las estaciones de radiodifusión, se consideró que las mismas tengan su estación principal de radiación en el Cerro Cacha, con este criterio se buscó la integridad de la señal, es decir, que no haya sufrido algún proceso previo en otra estación de radiación.

- Estaciones de radiodifusión y televisión que permitan el acceso a sus especificaciones técnicas, con este criterio se buscó tener la información necesaria y verídica para una correcta validación de los datos.

De acuerdo a los criterios establecidos, las radiodifusoras y televisoras seleccionadas para las mediciones se indica en la tabla 2-2

**Tabla 2-2:** Radiodifusora y televisora seleccionada para la recolección de datos

Nombre	Canal	Parámetros técnicos					P.R.A (kW)
		Frecuencia (MHz)	Ancho de banda (kHz)	Potencia (W)	Ganancia de antenas (dBd)	Pérdidas (dB)	
Radio Ciudad	-	106,5	220	1450	4.5	1	3.246
Ecuavisa	2	57	6000	800	11	1	8

Realizado por: Gómez, 2021

### 2.1.2. Equipos de medición

#### 2.1.2.1. Spectra Precision Mobile Mapper 50

Spectra Precision Mobile Mapper es un receptor GNSS de última generación, ofrece una combinación única de telefonía móvil 3.5G integrada, Wi-Fi y comunicaciones UHF con SMS, cuenta con 240 canales GNSS que incluye GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS y SBASS, tiene una precisión de 3mm horizontal y 3.5mm en vertical. El equipo se muestra en la figura 2-2. (RMS Geoespacial, 2021)

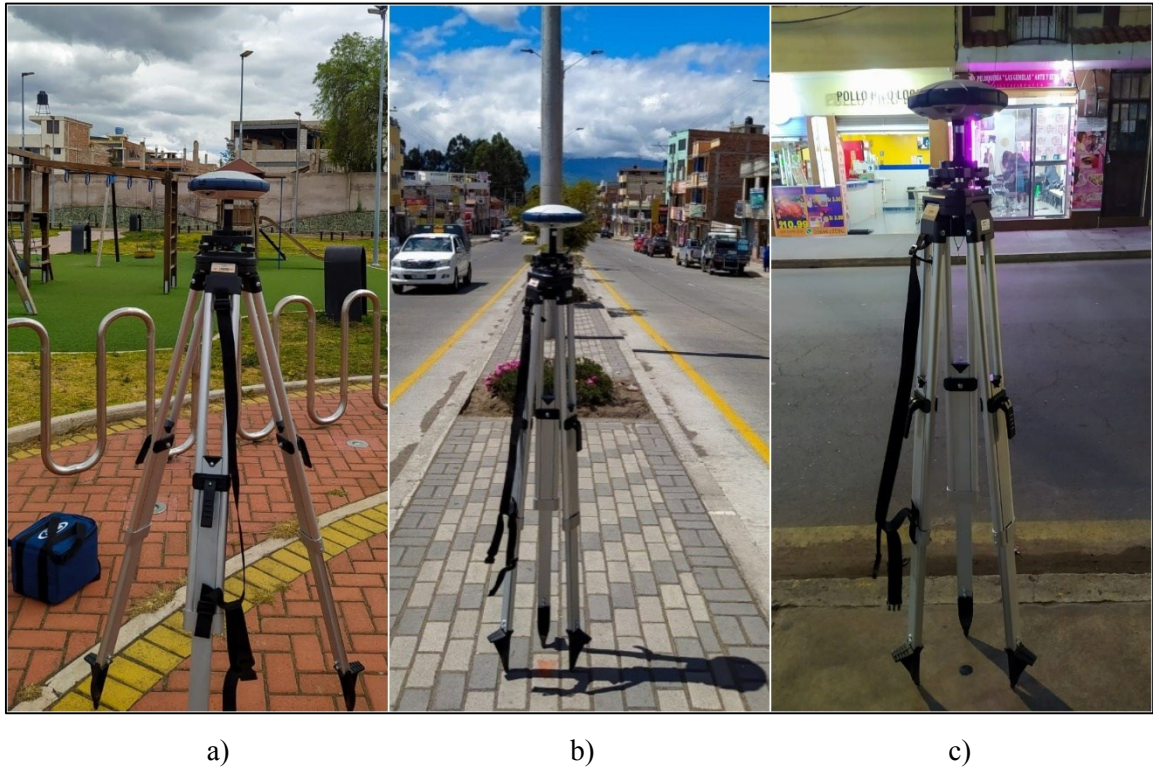


**Figura 2-2:** GPS Mobile Mapper 50

Fuente: RMS Geoespacial, 2021

Este equipo se utilizó para tener las ubicaciones geográficas precisas de cada uno de los lugares de medición descritos en la tabla 1-2. En la figura 3-2 se observa al GPS ubicado en algunos de

los lugares de medición establecidos en la sección 2.1.1.1, con una altura de 1,5m sobre el suelo, altura del receptor considerada para la medición de las componentes radioeléctricas.



**Figura 3-2:** GPS Mobile Mapper 50 ubicado en a) Parque Las Retamas, b) Av. Pedro Vicente Maldonado, c) Calle Olmedo.

Realizado por: Gómez, 2021

#### 2.1.2.2. Medidor de Radiación no Ionizante NARDA SRM-3006

Sistema de medición compacto y selectivo en frecuencia para análisis de seguridad y mediciones ambientales de campos electromagnéticos de alta frecuencia. Cubre las frecuencias de radiodifusión, telefonía móvil e industriales desde el rango más bajo de onda larga hasta las últimas aplicaciones inalámbricas y evalúa el nivel de exposición de campo de acuerdo con los estándares internacionales o nacionales. (Narda STS, 2015). En la tabla 4-2 se tiene las especificaciones del producto y en la figura 4-2 se ve al equipo en si.

**Tabla 4-2:** Especificaciones técnicas del medidor RNI SRM-3006

Parámetro	Valor
Rango de frecuencia	9KHz – 6GHz
Rango de medición	-30dBm a +20dBm en pasos de 1dB
Ancho de banda de resolución (RBW)	Hasta 32MHz, depende del modo de operación
Modos de operación	Analizador de espectros Evaluación de seguridad Registrador de nivel
Antenas	Isotrópicas de uno y tres ejes

Fuente: (Narda STS, 2015)



**Figura 4-2:** Medidor RNI SRM-3006

Fuente: (Narda STS, 2015)

#### *Antena Tri axis*

La antena de medición de tres ejes es una antena isotrópica no direccional, detecta la intensidad de campo eléctrico desde los 27 MHz hasta 3 GHz, permite medir el campo en 3 direcciones perpendiculares debido a los 3 dipolos que lo conforma internamente (ver figura 5-2). (Narda STS, 2015)



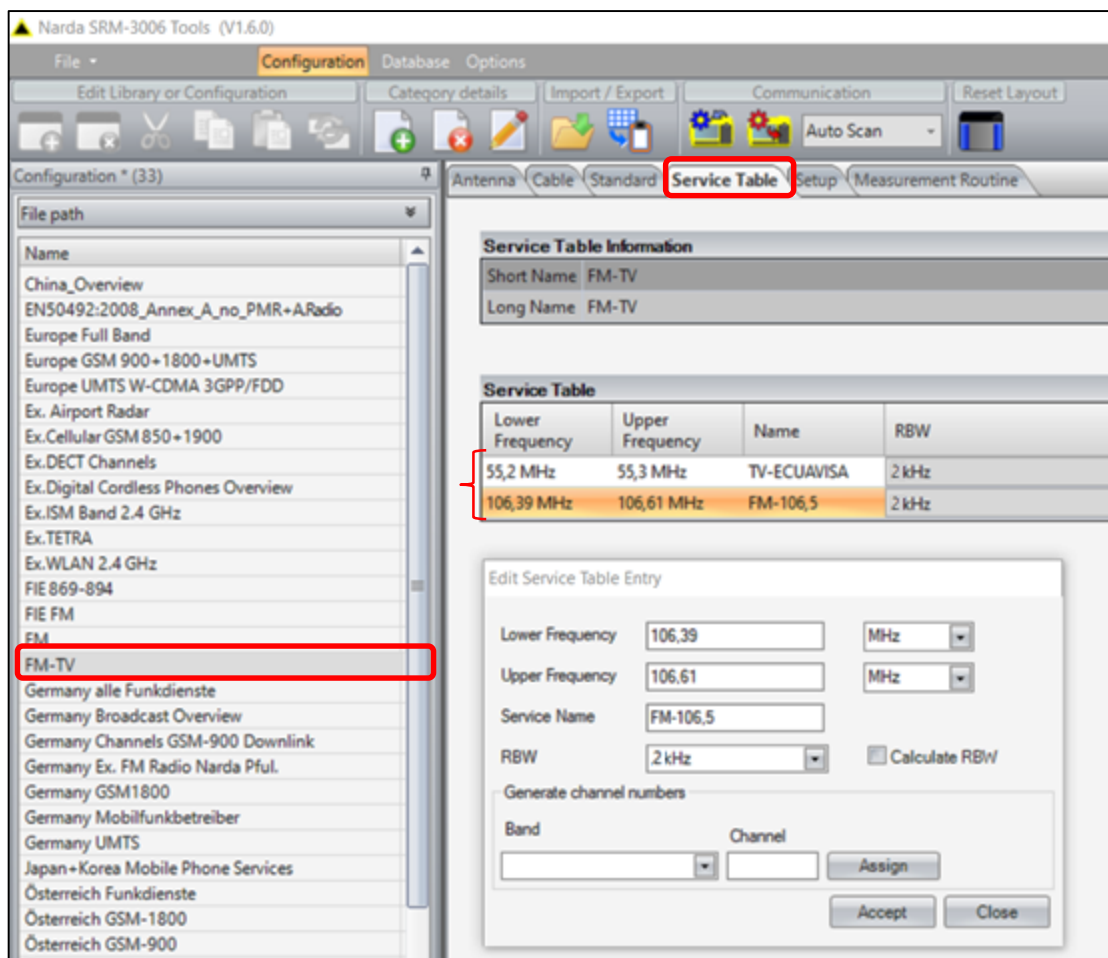
**Figura 5-2:** Antena de medición de 3 ejes

Fuente: (Narda STS, 2015)

#### *Configuración*

Para hacer las mediciones de manera eficiente se definió previamente una tabla servicio o “Service Table” con el nombre “FM-TV”, a pesar de que se puede crear y configurar una tabla de servicio desde el equipo, en este trabajo se prefirió usar el software “Narda SRM-3006 Tools” para el proceso descrito a continuación.

En “FM-TV” se agregó dos entradas, una correspondiente a la radiodifusora y otra a la televisora, con sus respectivas frecuencias superior e inferior, y con un RBW que permita que la medición coincida con las frecuencias portadoras, se estableció un valor de 2KHz para ambos servicios, tal y como se observa en la figura 6-2.



**Figura 6-2:** Configuración del medidor Narda SRM-3006

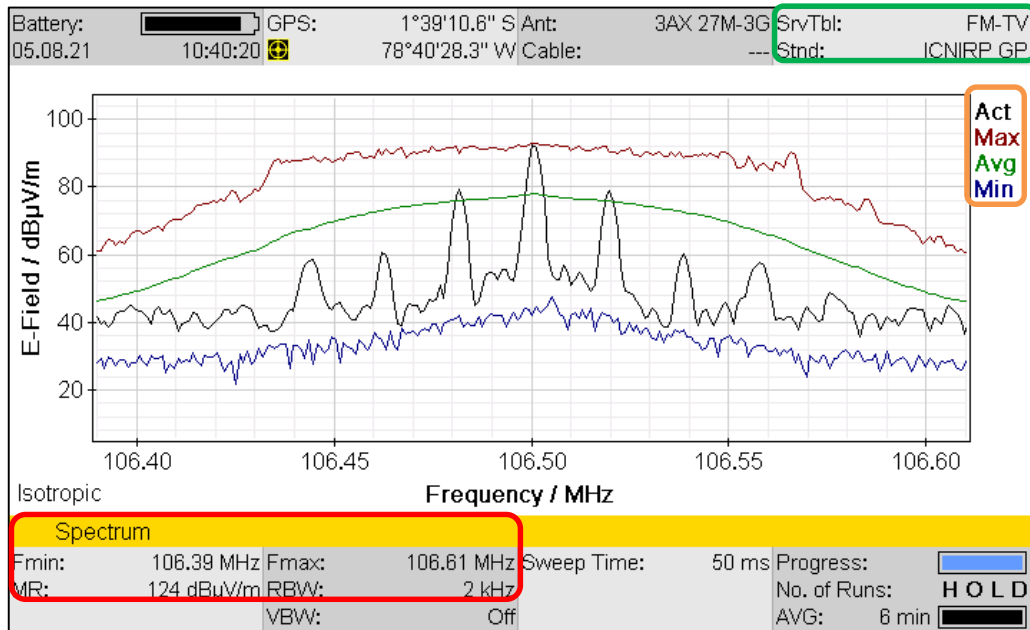
Realizado por: Gómez, 2021

El dispositivo tiene varios modos de operación, entre ellos el modo “Spectrum”, el cual fue ocupado en las mediciones. En la figura 7-2 se observa la intensidad de campo de la radiodifusora “Radio Ciudad” cuya portadora está en los 106.5 MHz, en el recuadro naranja se muestran los 4 tipos de campo eléctrico medidos, “Act” define al campo eléctrico actual, “Max” define al campo eléctrico máximo, “Avg” define al promedio del campo eléctrico recibido y “Min” define al valor mínimo de campo eléctrico.

Como se describe en la tabla 7-1, el ancho de banda del servicio de radiodifusión es de 220KHz, por lo cual la frecuencia mínima es de 106.39 MHz y la frecuencia máxima es de 106.61 MHz. Por las razones descritas anteriormente, el RBW ocupado es de 2 KHz, así también, el Measurement Range (MR) o rango de medición, el cual define la sensibilidad del equipo para la recepción de campo eléctrico, fue de 124 dB $\mu$ V/m. Estos parámetros se observan en el recuadro rojo de la figura 7-2.

Por otro lado, en el recuadro de color verde se observa la tabla de servicio ocupada y creada previamente “FM-TV” y el estándar ICNIRP General Public 1998, el cual describe el nivel de

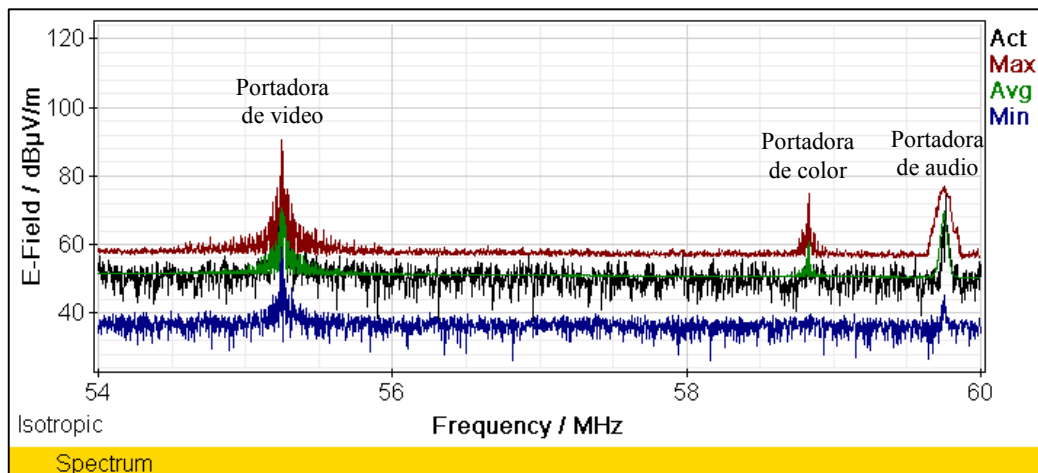
exposición de campos electromagnéticos para el público en general, los valores de MR, varían conforme al estándar utilizado.



**Figura 7-2:** Espectro de la radiodifusora “Radio Ciudad”

Realizado por: Gómez, 2021

Como se describe en la sección 1.4.2, en el Ecuador se utiliza el estándar M/NTSC para la transmisión de la señal del servicio de televisión, por lo cual el espectro de la televisora es como se lo muestra en la figura 8-2.



**Figura 8-2:** Espectro del canal de televisión “Ecuavisa”

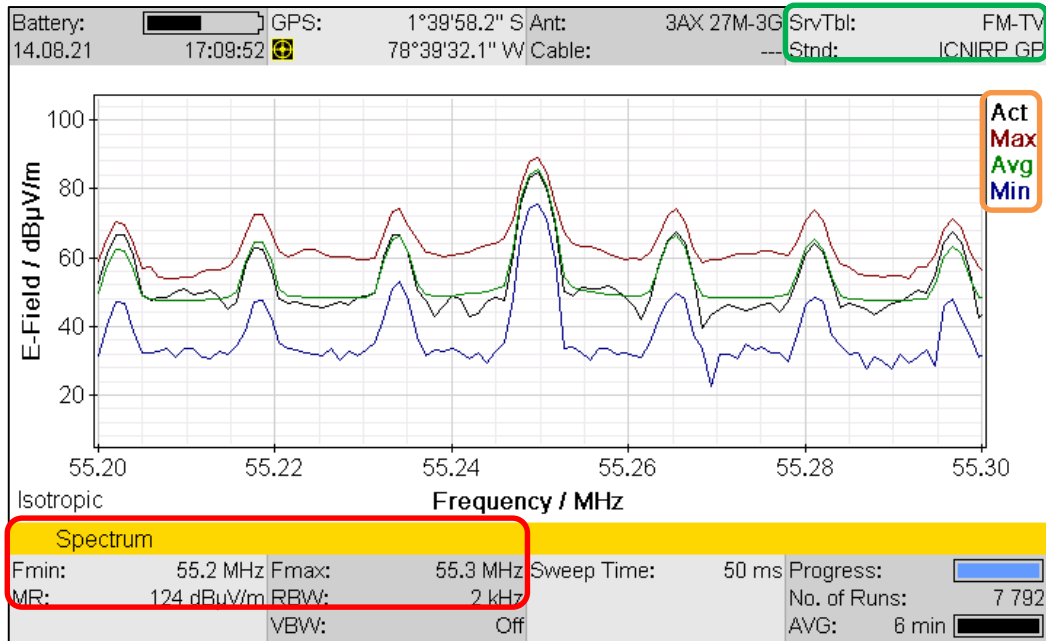
Realizado por: Gómez, 2021

En esta figura se observan las 3 portadoras correspondientes a la portadora de video, portadora de color y portadora de audio, se observa que la portadora de video posee mayor intensidad de campo que las otras portadoras, además, existe un piso de ruido entre portadora y portadora, por lo cual si se realizara la medición en todo el ancho de banda los valores obtenidos de campo se verían mermados por los valores de ruido existente.



Por las razones descritas, se decidió hacer la medición alrededor de la portadora de video, la misma tiene una frecuencia de 55.25 MHz, se modula a través de modulación AM de banda vestigial, su espectro se lo aprecia en la figura 9-2.

Como se muestra en el recuadro rojo de la figura 9-2, se seleccionó un ancho de banda de 100 KHz, donde los vestigios alrededor de la portadora tienen aún un nivel de campo eléctrico bastante considerable, por lo cual la frecuencia mínima y frecuencia máxima son de 55.2 y 55.3 MHz. El resto de parámetros mostrados en la figura son iguales que los descritos para la radiodifusora.



**Figura 9-2:** Espectro de la portadora de video

Realizado por: Gómez, 2021

### 2.1.3. Método de medición

Una vez establecidos los puntos de medición tanto de la radiodifusora como de la televisora y la respectiva configuración del equipo de medición, las jornadas de mediciones se realizaron según la disponibilidad del Narda SRM-3006, la duración de la batería del mismo y la facilidad de movilización entre los lugares de medición.

Las mediciones se realizaron en un entorno ambiental uniforme, se consideraron días despejados, con una temperatura estándar, según datos de la estación agrometeorológica de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, los factores climáticos de estos días se describen en la tabla 5-2

**Tabla 5-2:** Factores climáticos correspondientes a los días de mediciones

Fecha	Lugar	Factores climáticos				
		Humedad media relativa del aire (%)	Precipitación (mm)	Presión atmosférica (hPa)	Temperatura media del aire (°C)	Dirección y velocidad del viento (m/s)
05/08	Av. Canónigo Ramos	63,3	0,0	547,1	11,6	SE 2,3
	Parque Sesquicentenario					
	Av. 11 de Noviembre					
	Calle Segundo Rosero					
10/08	Calle Reina Pacha	68,0	0,0	545,2	14,2	SE 3,0
	Av. Milton Reyes					
12/08	Parque del estudiante	69,2	0,0	545,5	12,6	SE 1,8
	Calle 10 de agosto					
13/08	Av. Vicente Maldonado	74,5	0,0	545,8	13,1	SE 1,8
	Parque Las Retamas					
14/08	Calle Olmedo	68,8	0,0	545,2	13,6	SE 1,8
	Parque Guayaquil					
15/08	Calle Chile	70,8	0,0	544,8	13,6	SE 2,0
	Parque Sucre					
	Parque Puruhá					
	Av. 9 de Octubre					

Fuente: Arevalo y Tiupul, 2021

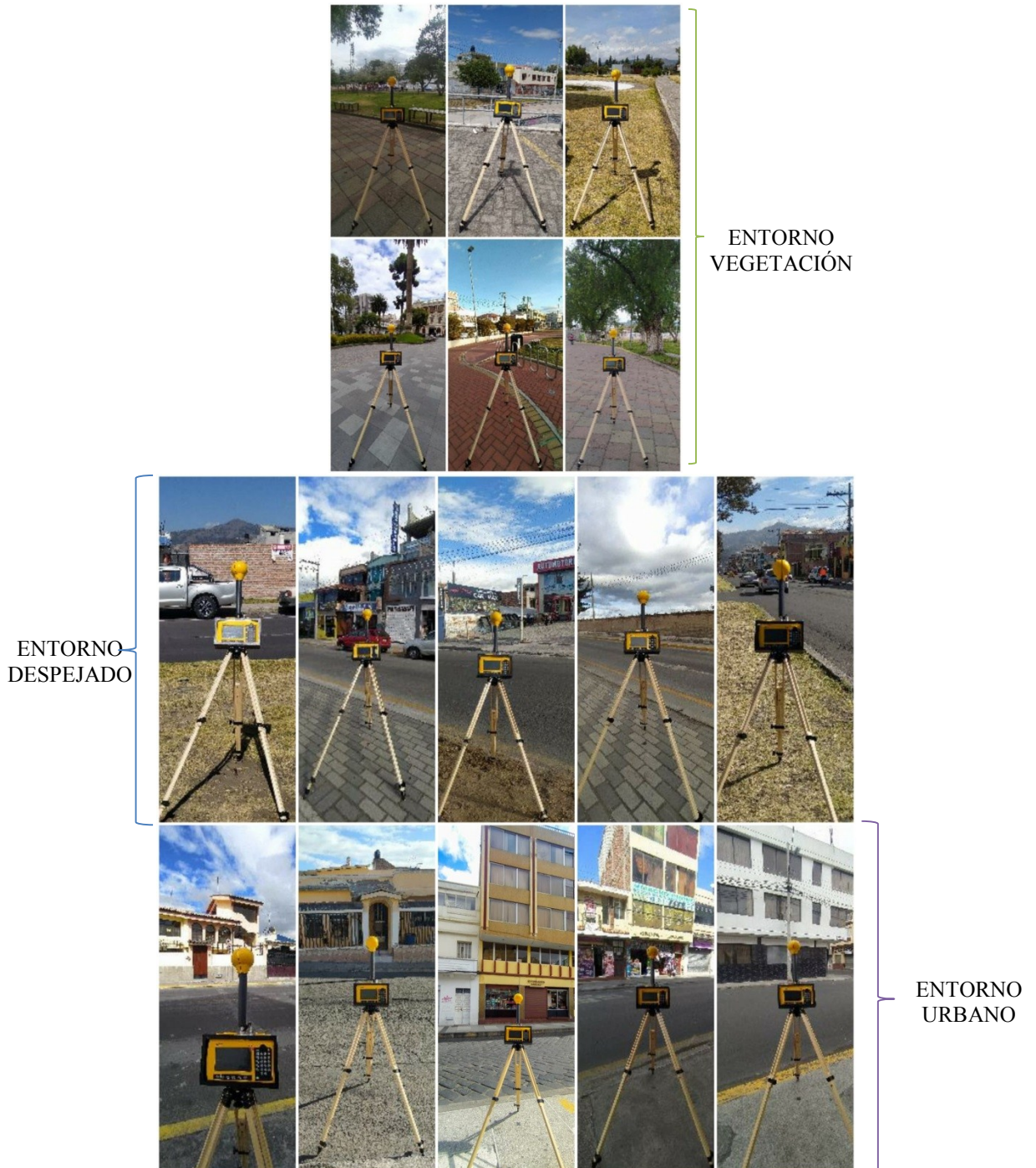
Realizado por: Gómez, 2021

Como se especificó en el apartado 2.1.1.1, en cada distancia, es decir, en cada locación, se realizaron 5 mediciones por cada frecuencia, con una duración de 6 minutos cada una (tiempo establecido según el estándar ICNRP General Public 1998), junto con el tiempo que tomó ubicar el equipo y ponerlo en la posición correcta, las mediciones duraron aproximadamente una hora



y media para cada lugar. Por lo tanto, recolectar toda la información necesaria de todos los lugares de medición tomó un aproximado de 21 horas.

Si bien la antena de recepción del equipo de medición Narda SRM-3006 es omnidireccional, en la medición se direccionó el equipo hacia el cerro donde se encuentra el transmisor de la señal. En la figura 10-2 se observa al equipo direccionado hacia las antenas del Cerro Cacha, donde se encuentra el transmisor de la radiodifusora “Radio Ciudad”, también se visualiza al equipo ubicado en los lugares donde se midió la intensidad de campo.



**Figura 10-2:** Narda SMR-3006 ubicado en los puntos de medición

Realizado por: Gómez, 2021

En la figura 10-2 se observa como la línea de vista entre el transmisor y el receptor se ve afectada según el entorno donde está ubicado el equipo receptor, en la imagen inferior izquierda del entorno vegetación se visualiza la vegetación que obstaculiza el trayecto. De igual manera, en la primer imagen del entorno despejado se visualiza la línea de vista completamente despejada, desde el punto de medición se puede ver las antenas transmisoras ubicadas en el Cerro Cacha. Por otro lado, en la quinta imagen del entorno urbano se visualiza las edificaciones que obstaculizan el trayecto.

#### **2.1.4. Resultados de medición**

Tras terminar las mediciones en los días especificados en la tabla 4-2, se procedió a la exportación de los datos recolectados mediante el software “Narda SRM-3006 Tools”.

En la tabla 6-2 se encuentra los valores de intensidad de campo obtenidos en cada una de las mediciones realizadas en los puntos de medición.

**Tabla 6-2:** Valores de intensidad de campo medidos en los lugares de medición.

Locación	Frecuencia (MHz)	Campo eléctrico promedio E(dB $\mu$ V/m)				
		Número de medición				
		1°	2°	3°	4°	5°
Parque Sesquicentenario	106,5 - FM	86,65	84,15	85,46	84,85	84,77
	55,25 - TV	76,92	76,78	76,48	76,99	77,01
Parque Guayaquil	106,5 - FM	76,18	76,41	75,68	79,44	79,89
	55,25 - TV	85,52	85,26	85,96	85,03	85,65
Parque Las Retamas	106,5 - FM	76,2	78,12	77,41	76,2	81,55
	55,25 - TV	77,47	77,81	77,31	77,19	77,13
Parque Puruhá	106,5 - FM	76,09	76,42	76,78	75,88	74,67
	55,25 - TV	84,3	84,37	84,21	84	84,32
Parque Sucre	106,5 - FM	68,16	67,82	67,37	68,59	67,74
	55,25 - TV	82,97	83,5	83,1	83,61	82,34
Parque del Estudiante	106,5 - FM	82,48	83,02	81,61	82,65	82,78
	55,25 - TV	76,37	76,6	75,56	76,39	75,43
Av. 9 de Octubre	106,5 - FM	77,85	78,04	81,19	80,75	79,59
	55,25 - TV	92,7	92,68	92,69	92,73	91,77
Av. Milton Reyes	106,5 - FM	81,01	82,08	81,02	81,54	82,44
	55,25 - TV	80,88	81,11	81,44	80,9	80,19
Av. Vicente Maldonado	106,5 - FM	76,32	75,77	76,77	77,34	76,5
	55,25 - TV	75,64	76,41	75,01	75,21	75,14

Av. Canónigo Ramos	106,5 - FM	78,79	78,37	77,22	77,55	78,99
	55,25 - TV	79,42	79,68	80,06	80,07	79,7
Av. 11 de Noviembre	106,5 - FM	76,88	77,88	77,97	77,89	77,95
	55,25 - TV	76,81	76,36	76,58	75,76	76,29
Calle 10 de Agosto	106,5 - FM	60,66	60,76	60,82	59,57	60,85
	55,25 - TV	79,46	80,07	79,59	79,58	79,43
Calle Chile	106,5 - FM	78,01	77,11	77,6	77,94	76,82
	55,25 - TV	78,89	78,85	78,65	79,84	78,86
Calle Olmedo	106,5 - FM	64,7	63,98	65,29	64,64	63,75
	55,25 - TV	71,9	71,74	72,46	71,99	72,21
Calle Segundo Rosero	106,5 - FM	68,94	69,83	69,67	72,93	76,52
	55,25 - TV	70,73	70,08	70,7	71,23	70,82
Calle Reina Pacha	106,5 - FM	70,6	70,23	72,44	69,34	73,51
	55,25 - TV	81,63	81,53	80,82	81,45	81,88

Realizado por: Gómez, 2021

## 2.2. Obtención de datos teóricos

### 2.2.1. Cálculos necesarios

#### 2.2.1.1. Distancias transmisor-receptor

La distancia del enlace, es decir la distancia existente entre el transmisor y el receptor, es uno de los parámetros requeridos en todos los modelos de propagación. Se calculó este parámetro a partir de las coordenadas geográficas tanto del transmisor como del receptor descritas en la tabla 1-2. En la tabla 7-2 se observan los valores de distancia obtenidos.

**Tabla 7-2:** Distancias transmisor-receptor

Locación	Distancia (km)	
	Cerro Cacha - FM	Cerro San Francisco - TV
Parque Sesquicentenario	6,3143	4,2560
Parque Guayaquil	6,9163	3,4667
Parque Las Retamas	6,4024	3,7189
Parque Puruhá	6,5223	3,2835
Parque Sucre	7,5443	3,2365
Parque del Estudiante	5,7069	4,5414
Av. 9 de Octubre	5,9647	3,1512
Av. Milton Reyes	6,1953	3,8855
Av. Vicente Maldonado	5,0401	4,4977
Av. Canónigo Ramos	6,2553	4,9010

Av. 11 de Noviembre	6,6935	4,7417
Calle 10 de Agosto	7,4106	3,2765
Calle Chile	7,2634	2,9017
Calle Olmedo	7,2516	3,1284
Calle Segundo Rosero	6,7491	4,4844
Calle Reina Pacha	6,8054	3,6369

Realizado por: Gómez, 2021

### 2.2.1.2. Altura efectiva

La altura efectiva  $h_{ef}$  se define como la altura en metros del centro de radiación de la antena sobre el nivel medio del terreno desde el transmisor hacia el receptor (ver figura 11-2), se calcula con la ecuación 1.3 entre las distancias de 3 a 15 km.

$$h_{ef} = h_t + c(0) - h_m \quad (1.3)$$

Donde:

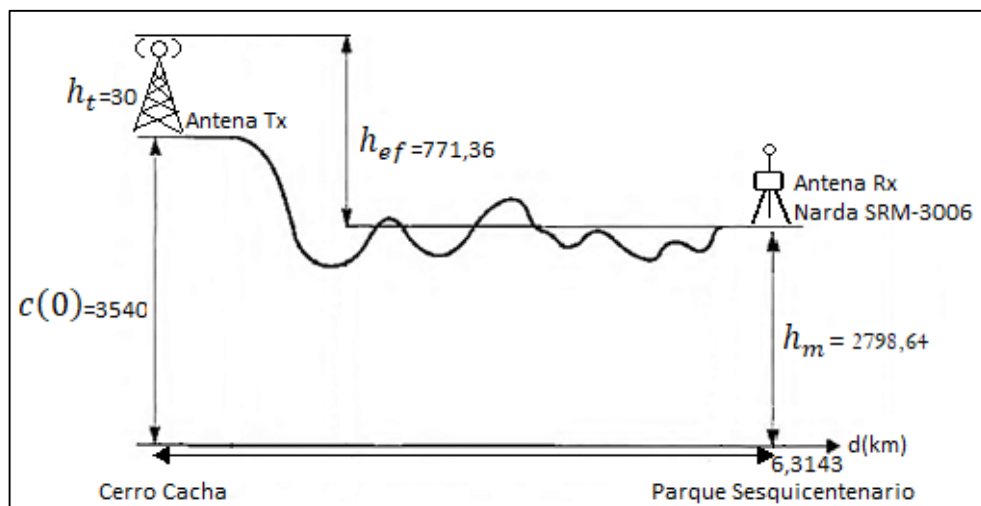
$h_t$ : Altura del centro de radiación sobre el suelo (m)

$c(0)$ : Cota del terreno al pie de la antena (m)

$h_m = \frac{1}{12} \left\{ \sum_{i=n}^{i=m-1} \frac{c(x_i) + c(x_{i+1})}{2} (x_{i+1} - x_i) \right\}$ : Altura media del terreno (m) (Hernando

Rábanos, Mendo y Riera, 2013, p. 199-200)

La altura efectiva calculada en un punto de medición (parque Sesquicentenario) se puede observar gráficamente en la figura 11-2, este proceso se repite a lo largo de los 16 puntos de medición establecidos.



**Figura 11-2:** Altura efectiva calculada en el punto de medición del Parque Sesquicentenario.

Realizado por: Gómez, 2021

En la tabla 8-2 se muestran las alturas efectivas calculadas.

**Tabla 8-2:** Alturas efectivas de los puntos de medición

Locación	Altura efectiva (m)	
	Cerro Cacha - FM	Cerro San Francisco - TV
Parque Sesquicentenario	771,36	758,36
Parque Guayaquil	801,24	788,24
Parque Las Retamas	784,91	771,91
Parque Puruhá	794,99	781,99
Parque Sucre	816,99	803,99
Parque del Estudiante	757,98	744,98
Av. 9 de Octubre	797,15	784,15
Av. Milton Reyes	780,56	767,56
Av. Vicente Maldonado	755,40	742,40
Av. Canónigo Ramos	754,53	741,53
Av. 11 de Noviembre	759,94	746,94
Calle 10 de Agosto	810,72	797,72
Calle Chile	809,90	796,90
Calle Olmedo	809,40	796,40
Calle Segundo Rosero	760,03	747,03
Calle Reina Pacha	798,30	785,30

Realizado por: Gómez, 2021

### 2.2.2. Modelo de la Recomendación UIT-R P.525

Para la obtención de los valores de campo con este modelo se utilizaron las ecuaciones (23.1) y (24.1) descritas en la sección 1.1.4.1. Los datos requeridos del modelo de propagación fueron la distancia de cada enlace (tabla 7-2) y las características técnicas de la radiodifusora y televisora descritas en la sección 2.1.1.2.

### 2.2.3. Modelo Longley-Rice

Para la obtención de los valores de campo con este modelo se utilizó el software “Radiomobile”, el cual es usado para el cálculo de radioenlaces en terreno irregular y está basado en el modelo de predicción de Longley-Rice. Los datos requeridos para el cálculo fueron las características técnicas de la radiodifusora y televisora descritas en la sección 2.1.1.2, como también los descritos en la tabla 9-2.

**Tabla 9-2:** Valores de las variables de entrada del modelo Longley-Rice

Parámetro	Valor
Refractividad de la superficie ( $N_s$ )	253
Conductividad del suelo ( $\sigma$ )	0,5 S/m

Permitividad relativa del suelo ( $\epsilon_r$ )	30
Clima	Ecuatorial
Polarización	FM: Vertical TV: Horizontal
Alturas estructurales de la antena ( $h_{g1}, h_{g2}$ )	Transmisor: FM – TV: 30m Receptor: 1,5m

Realizado por: Gómez, 2021

#### 2.2.4. Modelo de la Recomendación UIT-R P.1546

Para la obtención de los valores de campo con este modelo se utilizaron la figura 1 y 9 correspondientes al anexo 2 y 3 de la recomendación. Los datos requeridos para el cálculo fueron la altura de la antena transmisora  $h_1$ , que se calcula de acuerdo a la distancia del enlace. En este caso, las distancias son inferiores a 15 Km, por lo cual  $h_1$  se calcula mediante la ecuación 2.2 o 3.2 según corresponda.

$$h_1 = h_a \quad \text{Para } d \leq 3\text{km} \quad (2.2)$$

$$h_1 = h_a + \frac{(h_{ef} - h_a)}{(d-3)^{1/2}} \quad \text{Para } 3\text{km} < d < 15\text{km} \quad (3.2)$$

Donde:

$h_a$ : Altura de la antena sobre el suelo (m)

$h_{ef}$ : Altura efectiva (m) (UIT-R, 2009)

En la tabla 9-2 se encuentran los valores de  $h_1$  para cada lugar de medición considerado.

**Tabla 9-2:** Valores de la altura de antena transmisora

Locación	Altura de antena transmisora $h_1$ (m)	
	Cerro Cacha - FM	Cerro San Francisco - TV
Parque Sesquicentenario	235,17	106,39
Parque Guayaquil	282,19	59,55
Parque Las Retamas	244,47	74,54
Parque Puruhá	254,98	47,80
Parque Sucre	328,59	45,29
Parque del Estudiante	194,55	122,03
Av. 9 de Octubre	219,90	39,52
Av. Milton Reyes	230,25	84,53
Av. Vicente Maldonado	153,58	119,10
Av. Canónigo Ramos	226,95	142,96
Av. 11 de Noviembre	255,13	134,27
Calle 10 de Agosto	317,50	47,72

Calle Chile	307,62	30,00
Calle Olmedo	306,67	38,22
Calle Segundo Rosero	258,55	118,88
Calle Reina Pacha	274,12	70,17

Realizado por: Gómez, 2021

Debido a que las figuras de la recomendación tienen valores preestablecidos se realizaron 3 interpolaciones en total, la primera interpolación se dio debido a la altura de la antena transmisora  $h_1$  con la fórmula 4.2, la segunda interpolación se dio en función de la distancia con la fórmula (48.1) y la tercera interpolación se dio en función de la frecuencia con la fórmula (49.1), las cuales se describen en la sección 1.1.4.3

$$E_{[dBuV/m]} = E_{inf} + \frac{(E_{sup} - E_{inf}) \log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)} \quad (4.2)$$

Donde:

$h_{inf}$ : Altura nominal inferior

$h_{sup}$ : Altura nominal superior

$E_{inf}$ : Valor de intensidad de campo para  $h_{inf}$

$E_{sup}$ : Valor de intensidad de campo para  $h_{sup}$  (UIT-R, 2009)

De igual manera, las curvas de la recomendación están dadas para un P.R.A de 1Kw, por lo cual se realizó la corrección correspondiente del valor de campo resultante de las interpolaciones previamente realizadas, la corrección se la realizó mediante la fórmula (5.2)

$$E_{[dBuV/m]} = E + 10\log(P.R.A) \quad (5.2)$$

Donde:

$E$ : Intensidad de campo para un P.R.A de 1Kw.

$P.R.A$ : Potencia radiada aparente de la radiodifusora y televisora descritas en la sección 3.1.1.2 (Hernando Rábanos, Mendo y Riera, 2013, p. 199)

Por último se realizó la corrección debida por la región climática, debido a que los valores de intensidad de campo electrico de la recomendación están basados en mediciones experimentales en clima templado, esta corrección se la realizó con la ecuación 51.1

### 2.2.5.Resultados teóricos

En la tabla 10-2 se encuentran los valores de campo obtenidos con cada uno de los modelos de propagación para los dos servicios de radiodifusión establecidos.

**Tabla 10-2:** Valores de intensidad de campo teórico para radiodifusión FM y TV.

Locación	Campo eléctrico E(dB $\mu$ V/m)					
	UIT-R P.525		Longley-Rice		UIT-R P.1546	
	FM	TV	FM	TV	FM	TV
Parque Sesquicentenario	96,00718	103,35089	90,8	95,1	77,98901	80,6613
Parque Guayaquil	95,21620	105,13248	79,5	92,2	78,42070	90,3876
Parque Las Retamas	95,88682	104,52262	86,7	98,9	78,14722	79,5929
Parque Puruhá	95,72566	105,60414	87,1	101,1	78,27612	89,9084
Parque Sucre	94,46130	105,72927	84,2	100,7	78,58318	89,8080
Parque del Estudiante	96,88567	102,78710	87,9	94,6	77,67151	80,9243
Av. 9 de Octubre	96,50191	105,96138	92,1	103,9	78,15036	89,4453
Av. Milton Reyes	96,17243	104,14202	91,4	98,2	78,05305	80,0179
Av. Vicente Maldonado	97,96490	102,87102	88,2	93,9	77,31512	80,8525
Av. Canónigo Ramos	96,08872	102,12515	85,5	92	77,80184	81,2366
Av. 11 de Noviembre	95,50061	102,41227	89,3	93,6	77,94909	81,1462
Calle 10 de Agosto	94,61661	105,62268	87,9	101,3	78,53502	89,9261
Calle Chile	94,79088	106,67783	87,2	101,7	78,53809	89,0428
Calle Olmedo	94,80500	106,02452	84,1	100,6	78,53439	89,3655
Calle Segundo Rosero	95,42876	102,89682	86	95,9	77,96026	80,8759
Calle Reina Pacha	95,35661	104,71622	87,4	97,3	78,36917	79,4322

Realizado por: Gómez, 2021



## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados de la investigación realizada, así como la comparativa y el modelo de propagación recomendado para la predicción de la intensidad de campo eléctrico de los servicios de radiodifusión FM y TV en la ciudad de Riobamba.

#### 3.1. Comparación de los resultados medidos y los resultados teóricos

La intensidad de campo medida considerada en el análisis fue la adición del promedio de la intensidad de campo registrada en las 5 mediciones realizadas por cada locación con el valor de incertidumbre de la antena Tri-axis, que corresponde a 2.5 y 3.5 dB para la frecuencia de 106.5 y 55.25 MHz respectivamente. Los valores con los que se trabajó para la comparación se muestran en la tabla 1-3 y 2-3 para radiodifusión FM y televisión respectivamente.

**Tabla 1-3:** Valores de intensidad de campo teórico y medido para radiodifusión FM

Locación	Campo eléctrico E(dB $\mu$ V/m)			
	Medido	UIT-R P.525	Longley-Rice	UIT-R P.1546
Parque Sesquicentenario	87,676	96,00718	90,8	77,98901
Parque Guayaquil	80,02	95,21620	79,5	78,42070
Parque Las Retamas	80,396	95,88682	86,7	78,14722
Parque Puruhá	78,468	95,72566	87,1	78,27612
Parque Sucre	70,436	94,46130	84,2	78,58318
Parque del Estudiante	85,008	96,88567	87,9	77,67151
Av. 9 de Octubre	81,984	96,50191	92,1	78,15036
Av. Milton Reyes	84,118	96,17243	91,4	78,05305
Av. Vicente Maldonado	79,04	97,96490	88,2	77,31512
Av. Canónigo Ramos	80,684	96,08872	85,5	77,80184
Av. 11 de Noviembre	80,214	95,50061	89,3	77,94909
Calle 10 de Agosto	63,032	94,61661	87,9	78,53502
Calle Chile	79,996	94,79088	87,2	78,53809
Calle Olmedo	66,972	94,80500	84,1	78,53439
Calle Segundo Rosero	74,078	95,42876	86	77,96026
Calle Reina Pacha	73,724	95,35661	87,4	78,36917

Realizado por: Gómez, 2021

**Tabla 2-3:** Valores de intensidad de campo teórico y medido para televisión.

Locación	Campo eléctrico E(dBμV/m)			
	Medido	UIT-R P.525	Longley-Rice	UIT-R P.1546
Parque Sesquicentenario	80,336	103,35089	95,1	80,6613
Parque Guayaquil	88,984	105,13248	92,2	90,3876
Parque Las Retamas	80,882	104,52262	98,9	79,5929
Parque Puruhá	87,74	105,60414	101,1	89,9084
Parque Sucre	86,604	105,72927	100,7	89,8080
Parque del Estudiante	79,57	102,78710	94,6	80,9243
Av. 9 de Octubre	96,014	105,96138	103,9	89,4453
Av. Milton Reyes	84,404	104,14202	98,2	80,0179
Av. Vicente Maldonado	78,982	102,87102	93,9	80,8525
Av. Canónigo Ramos	83,286	102,12515	92	81,2366
Av. 11 de Noviembre	79,86	102,41227	93,6	81,1462
Calle 10 de Agosto	83,126	105,62268	101,3	89,9261
Calle Chile	82,518	106,67783	101,7	89,0428
Calle Olmedo	75,56	106,02452	100,6	89,3655
Calle Segundo Rosero	74,212	102,89682	95,9	80,8759
Calle Reina Pacha	84,962	104,71622	97,3	79,4322

Realizado por: Gómez, 2021

Para la validación de los datos se ocupó el error cuadrático medio RMSE, el cual mide la cantidad de error existente entre dos conjuntos de datos, es decir, compara un valor predecido y uno observado. Se calcula mediante la ecuación (1.3) y para su evaluación se considera que mientras menor sea el valor RMSE menor será la diferencia entre los valores medidos con los predecidos.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (xm_i - xc_i)^2}{N}} \quad (1.3)$$

Donde:

$xm$ : valores observados (medidos)

$xc$ : Valores predichos (calculados)

$N$ : Número de muestras (puntos de medición) (Martínez y Caluña, 2016)

El RMSE fue calculado para cada uno de los modelos a lo largo de las 16 locaciones de medición, y de igual manera, se consideró conveniente hallar el valor RMSE en cada entorno de medición, con el fin de observar el rendimiento de los modelos de propagación en los mismos.

Cabe recordar que en el marco metodológico se estableció 16 locaciones, distribuidas de manera equitativa para los 3 entornos de medición:

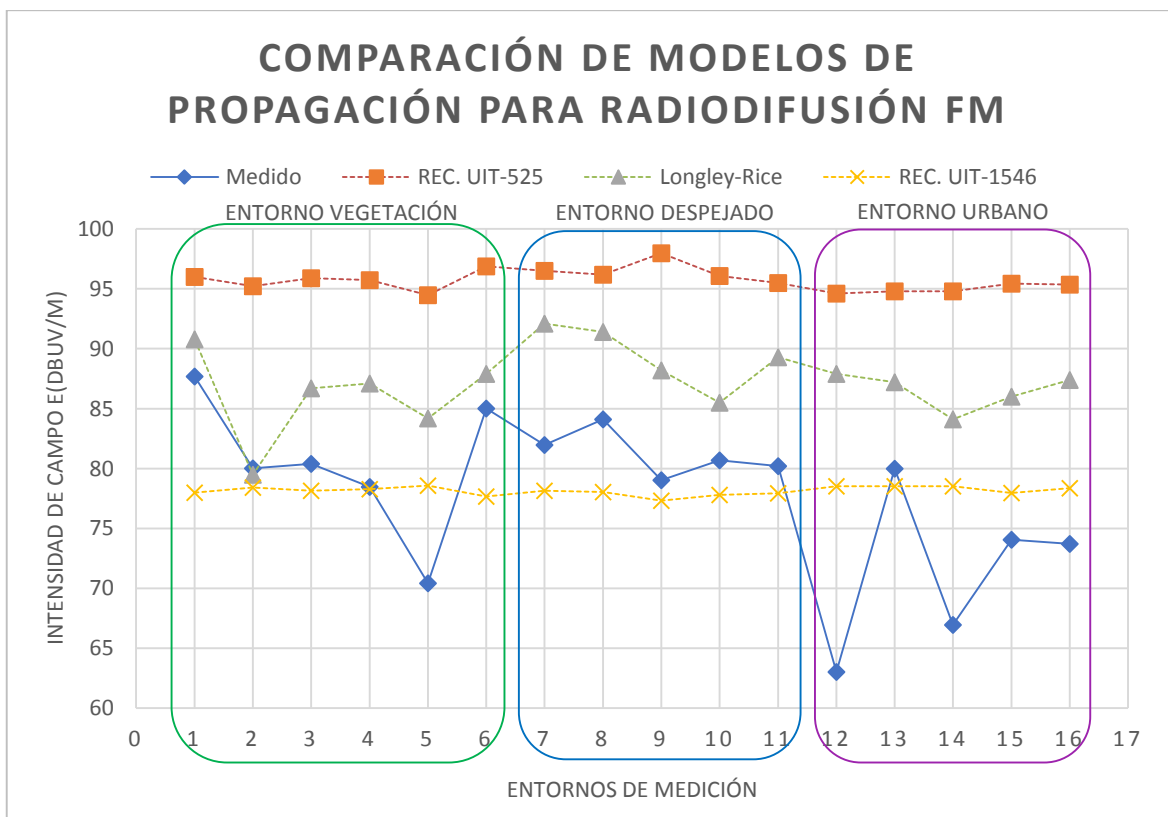
- Entorno 1: Área con vegetación, se consideró parques (6 locaciones – etiqueta verde).
- Entorno 2: Área despejada, se consideró calles amplias (5 locaciones – etiqueta azul).
- Entorno 3: Área con presencia de edificaciones (5 locaciones – etiqueta morada).

### 3.1.1. Servicio de Radiodifusión FM

En el gráfico 1-3, se visualiza el comportamiento de los valores de intensidad teóricos y medidos a lo largo de las 16 locaciones para el servicio de radiodifusión FM, el orden de los entornos y locaciones de la gráfica corresponde a la listada en la tabla 1-3.

En este gráfico se observa que la recomendación UIT-R P.525 predijo valores de intensidad de campo más alejados a los valores reales, debido a que el modelo no considera el entorno por donde se propaga la onda. De igual manera, se observa que la recomendación UIT-R P.1546 predijo valores de intensidad de campo más cercanos a los valores reales.

Se observa también, que el campo predecido por la recomendación UIT-R P.1546 tiene un comportamiento lineal, mientras que el campo predecido por el modelo de Longley-Rice tiene un comportamiento más semejante al valor de campo medido y coincide o se acerca bastante a 3 de los valores medidos en el entorno 1 (denotado en la gráfica por el recuadro verde), en el resto de entornos se ve una diferencia bastante marcada.



**Gráfico 1-3:** Comparativa de los valores de intensidad de campo eléctrico dado por los modelos de propagación y el medido para la frecuencia 106,5 MHz.

Realizado por: Gómez, 2021

**Tabla 3-3:** Valores RMSE de los modelos de propagación para el servicio de radiodifusión FM.

<b>Modelo de propagación</b>	<b>RMSE</b>
UIT-R P.525	18,80262
Longley-Rice	11,06786
UIT-R P.1546	6,62566

Realizado por: Gómez, 2021

Con los índices mostrados en la tabla 3-3 se sustenta que los valores de intensidad de campo eléctrico dados por la recomendación UIT-R P.1546 presentaron una diferencia de 6.62566 con los valores medidos, siendo la menor diferencia en comparación a los modelos Longley-Rice y recomendación UIT-R P.525, con índices de 11.06786 y 18.80262 respectivamente.

**Tabla 4-3:** Valores RMSE de acuerdo a los entornos de medición para el servicio de radiodifusión FM.

<b>Modelo de propagación</b>	<b>RMSE</b>		
	<b>Entorno 1</b>	<b>Entorno 2</b>	<b>Entorno 3</b>
UIT-R P.525	16,10600	15,39621	24,14530
Longley-Rice	7,32681	8,30681	16,08011
UIT-R P.1546	6,07851	3,68490	9,08634

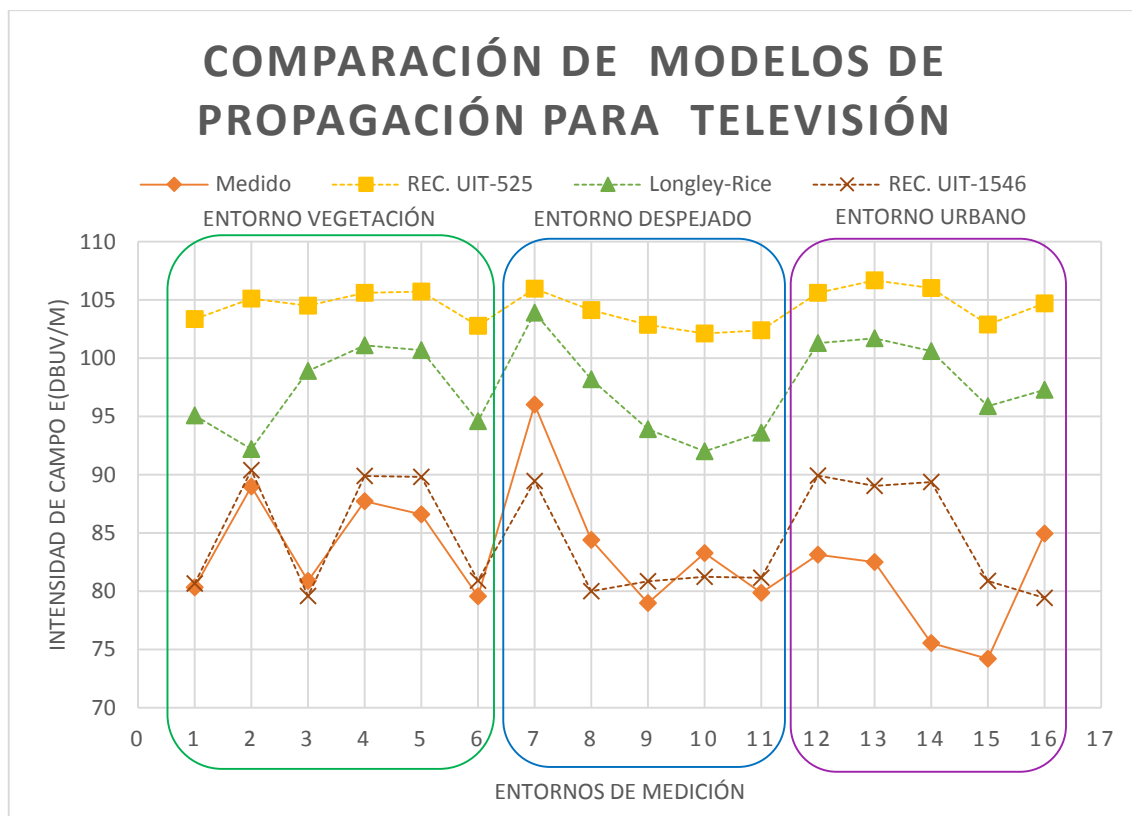
Realizado por: Gómez, 2021

De acuerdo a los valores mostrados en la tabla 4-3, se concluye que para el servicio de radiodifusión FM, en la frecuencia de 106.5 MHz:

- La recomendación UIT-R P.525 presenta una mejor aproximación en el entorno 2 con un error de 15.39621, mientras que la peor aproximación se da en el entorno 3, con un error de 24.14530.
- El modelo Longley-Rice presenta menor diferencia en el entorno 1 con un error de 7.32681 y al igual que la recomendación presenta una diferencia mayor en el entorno 3, con un error de 16.08011.
- La recomendación UIT-R P.1546 presenta mejor rendimiento en el entorno 2, con un error de 3.68490, este entorno se caracteriza por la despreciable presencia de vegetación y edificios. Por otro lado, presenta su peor predicción para el entorno 3, con un error de 9.08634 donde existen edificaciones de altura y densidad considerable.

### **3.1.2.Servicio de Televisión**

En el gráfico 2-3, se visualiza el comportamiento de los valores de intensidad teóricos y medidos a lo largo de las 16 locaciones para el servicio de televisión, de igual manera el orden de los entornos y locaciones de la gráfica corresponde a la listada en la tabla 2-3.



**Gráfico 2-3:** Comparativa de los valores de intensidad de campo dado por los modelos de propagación y el medido para la frecuencia 55,25 MHz.

Realizado por: Gómez, 2021

Se observa en el gráfico 2-3 que la recomendación UIT-R P.525 predijo valores de intensidad de campo bastante alejados a los valores reales, de igual forma, la menor diferencia de valores medidos con los calculados en los tres entornos seleccionados fue dada por la recomendación UIT-R P.1546. Se observa también, que el comportamiento de la intensidad de campo predicha por la recomendación UIT-R P.1546 se asemeja más al comportamiento real del campo medido. De acuerdo a los índices mostrados en la tabla 5-3, se sustenta el análisis realizado a partir de las curvas mostradas en el gráfico 2-3, los valores de intensidad de campo dados por la recomendación UIT-R P.1546 presentaron menor diferencia con los valores medidos en el servicio de televisión.

**Tabla 5-3:** Valores RMSE de los modelos de propagación para el servicio de televisión.

Modelo de propagación	RMSE
UIT-R P.525	21,97577
Longley-Rice	15,49936
UIT-R P.1546	5,28365

Realizado por: Gómez, 2021

**Tabla 6-3:** Valores RMSE de acuerdo a los entornos de medición para el servicio de televisión

Modelo de propagación	RMSE		
	Entorno 1	Entorno 2	Entorno 3
UIT-R P.525	20,70940	19,60991	25,42020
Longley-Rice	13,88077	12,16377	19,73748
UIT-R P.1546	1,85021	3,78785	8,41895

Realizado por: Gómez, 2021

De acuerdo a los valores mostrados en la tabla 6-3, se concluye que para el servicio de televisión, en la frecuencia de 55.25 MHz:

- La recomendación UIT-R P.525 presenta una mejor aproximación en el entorno 2 con un error de 19.60991, mientras que la peor aproximación se da en el entorno 3, con un error de 25.42020.
- El modelo Longley-Rice presenta menor diferencia en el entorno 2 con un error de 12.16377 y al igual que la recomendación presenta una diferencia mayor en el entorno 3, con un error de 19.73748.
- La recomendación UIT-R P.1546 presenta mejor rendimiento en el entorno 1, con un error de 1.85021, este entorno se caracteriza por la presencia de vegetación. Por otro lado, presenta su peor predicción para el entorno 3, con un error de 8.41895 donde existen edificaciones de altura y densidad considerable.

### 3.2. Modelo de propagación recomendado

Una vez culminado el análisis de los resultados se concluye que la recomendación UIT-R P.1546 predice valores de intensidad de campo eléctrico más cercanos al comportamiento real del mismo para los servicios de radiodifusión FM y televisión en las frecuencias de 106.5 y 55.25 MHz respectivamente.

**Tabla 7-3:** Valores RMSE de la recomendación UIT-R P.1546 según los entornos de medición.

Servicio	Frecuencia (MHz)	RMSE		
		Entorno 1	Entorno 2	Entorno 3
Radiodifusión FM	106.5	6,07851	3,68490	9,08634
Televisión	55.25	1,85021	3,78785	8,41895

Realizado por: Gómez, 2021

**Nota:** Entorno 1: Área con vegetación, se consideró parques; Entorno 2: Área despejada, se consideró calles amplias; Entorno 3: Área con presencia de edificaciones.

De acuerdo a los valores de la tabla 7-3 se concluye que en la frecuencia de 106.5 MHz, la recomendación mostró una mejor predicción de intensidad de campo en el entorno 2, mientras

que en la frecuencia de 55.25 MHz mostró una mejor predicción en el entorno 1, para ambas frecuencias la recomendación mostró peor predicción en el entorno 3.

Se mencionó que el comportamiento del campo predecido por la recomendación UIT-R P.1546 para el servicio de radiodifusión FM era un comportamiento lineal, este comportamiento se debe a la poca variabilidad de la altura de la antena transmisora ( $h_1$ ), el cual varía únicamente en las curvas de 150, 300 y 600 metros de las figuras 1 y 9 de los anexos 2 y 3 de la recomendación, con lo cual los valores no presentan una variación significativa de la intensidad de campo y por ello la curva de la recomendación mostrada en el gráfico 1-3 es cuasilineal.

Por otro lado, el comportamiento de la intensidad de campo predecida por la recomendación UIT-R P.1546 para el servicio de televisión se asemejaba más al comportamiento real del campo medido, este comportamiento se debe a que los valores de la altura de la antena transmisora ( $h_1$ ) varían más y en curvas menores, concretamente en las curvas de 20, 37,5, 75 y 150 metros de las figuras 1 y 9 de los anexos 2 y 3 de la recomendación, con lo cual los valores presentan de la intensidad de campo varían de forma más aleatoria dando como resultado la curva mostrada en el gráfico 2-3. El cálculo del parámetro  $h_1$  se lo realizaba con la ecuación 3.2, este parámetro dependía de la altura estructural de la antena transmisora, la altura efectiva y la distancia del enlace. El valor de la altura estructural de la antena considerada para ambos servicios es de 30 metros, la altura efectiva en ambos casos ronda los 700-800 metros, mientras que la distancia del enlace es el factor con mayor variabilidad, en el servicio de radiodifusión FM ronda los 5,04-7,54 km, mientras que en el servicio de TV ronda los 2,9-4,9 km, por lo cual se puede concluir que la distancia es el parámetro determinante por el cual el  $h_1$  presenta tal variabilidad en cada uno de los servicios.

Los resultados de la investigación apuntan a que la recomendación predice de mejor manera los valores de campo eléctrico en la frecuencia de 55.25 MHz para el servicio de televisión, pues de acuerdo al RMSE, la recomendación tuvo un error del 5.28365 para este servicio mientras que para el servicio de radiodifusión FM, con frecuencia de 106.5 MHz tuvo un error del 6.62566.

## CONCLUSIONES

- Como resultado de la investigación realizada solo se obtuvo la información necesaria para el cálculo de la intensidad de campo de frecuencias en la banda I y II de VHF. La televisión analógica en el Ecuador en la banda VHF se distribuye en las banda I y III, a pesar de no haber trabajado en la banda III, los resultados obtenidos con la banda I describen el comportamiento de este servicio en la banda VHF.
- La comparativa realizada entre los modelos de propagación Longley-Rice, Recomendación UIT-R P.1546 y UIT-R P.525, concluye que la recomendación UIT-R P.1546 es el modelo de propagación recomendado para la predicción de valores de intensidad de campo para los servicios de radiodifusión FM y televisión en la ciudad de Riobamba.
- Los valores de intensidad de campo eléctrico dados por la recomendación UIT-R P.1546 presentaron menor diferencia con los valores medidos en el servicio de televisión con frecuencia 55.25 MHz que en el servicio de radiodifusión FM con frecuencia de 106.5 MHz, la diferencia fue de 5.28365 para el primer servicio, mientras que para el segundo servicio fue de 6.62566.
- La recomendación UIT-R P.1546, en la frecuencia de 106.5 MHz presentó una mejor predicción de valores de intensidad de campo eléctrico en un entorno donde las edificaciones y vegetación son despreciables, por otro lado, en la frecuencia de 55.25 MHz, presentó una mejor predicción en un entorno donde existe la presencia de vegetación, en ambas frecuencias, la recomendación presentó peor predicción en un entorno donde las edificaciones tienen una altura y densidad considerable.
- El modelo de propagación recomendado puede variar conforme se expanda las locaciones de medición así como el número de frecuencias para el análisis.



## RECOMENDACIONES

- Expandir el área de estudio, tanto locaciones de medición, como modelos de propagación y frecuencias en los dos servicios de radiodifusión analizados, considerar más televisoras y radiodifusoras para caracterizar de mejor manera el comportamiento de la intensidad de campo en la banda considerada.
- Realizar estudios parecidos en distintas localidades del país, con el fin de identificar el modelo de propagación más adecuado que se ajuste a las condiciones de propagación que presenten las ciudades.
- Realizar pruebas del equipo de medición previo al trabajo de campo, para de esta manera reducir y prevenir errores en la recolección de datos, de igual manera, dar los cuidados necesarios para el buen funcionamiento del equipo.
- Considerar en la metodología las recomendaciones establecidas por entidades como la UIT para la recolección de los datos, para de esta manera tener resultados acorde a estándares internacionales y que estos puedan ser usados en trabajos posteriores.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACOSTA, M.** *Radiopropagación*. [blog]. [Consulta: 6 junio 2021]. Disponible en: <https://docplayer.es/53321362-Tema-3-radiopropagacion.html>.

**ARCOTEL.** *Norma Técnica Para El Servicio De Radiodifusión Sonora En Frecuencia Modulada Analógica*. [blog]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/NORMA-TECNICA.pdf>.

**ARCOTEL.** *Norma técnica para el servicio de televisión analógica y plan de distribución de canales*. [blog]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Norma-Tecnica-de-Television-Analogica.pdf>.

**ARCOTEL.** *Radiodifusión sonora y Televisión abierta*. [blog]. [Consulta: 17 junio 2021]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/radiodifusion-sonora-y-television-abierta2/>.

**AREVALO, M. y TIUPUL, P.**, *Boletín mensual meteorológico del mes de Agosto 2021*. [blog]. [Consulta: 30 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.esPOCH.edu.ec/index.php/estación-meteorológica.html>.

**ASTUDILLO, L.**, *¿Qué es R y por qué usarlo?* [blog]. [Consulta: 5 octubre 2021]. Disponible en: <https://matrixcpmsolutions.com/que-es-r-y-por-que-usarlo/>.

**BRAGA, N.**, *Ondas Electromagnéticas* [blog]. [Consulta: 3 junio 2021]. Disponible en: <http://www.incb.com.mx/index.php/curso-de-electronica/88-curso-de-electronica/1822-curso-de-electronica-09>.

**CANO, M.** *Red de sensores inalámbricos para el canal del bajo guadalquivir: planificación y pruebas de viabilidad* [en línea] (Trabajo de Titulación) Sevilla: Universidad de Sevilla. [Consulta: 9 junio 2021]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12046/>.

**CERON, E. y VEGA, D.**, *Predicción de Cobertura para un Sistema de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada ( FM ) utilizando Sistemas de Universidad del Cauca*. (Trabajo de Titulación) Universidad del Cauca. 2010.

**ERAZO, H.J.**, *Estudio y Análisis de la Tecnología de Recursos de Frecuencia única, y su Aplicación en la Radiodifusión en las Bandas de AM Y FM para la Optimización del Espectro Electromagnético en la Ciudad de Quito*. (Trabajo de Titulación) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2009. pp. 251. [Consulta: 20 mayo 2021] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1451/1/CD-2125.pdf>.

**ESOPO**, *Espectro electromagnético* [blog]. [Consulta: 2 junio 2021]. Disponible en: <https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/eem/>.

**ESOPO**, *Espectro Radioeléctrico* [blog]. [Consulta: 2 junio 2021]. Disponible en: <https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/espectro-radioelectrico/>.

**GAONA, E.E., LÓPEZ, E.A. y GÓMEZ, J.C.** "Prediction models for the propagation for television signals in the UHF band". *Informacion Tecnologica* [en línea]. 2020., vol. 31, no. 4, pp. 3-16. ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642020000400003.

**GÓMEZ, M.** *Estructura de la Atmósfera - La Atmósfera, la envoltura que nos protege* [blog]. [Consulta: 2 junio 2021]. Disponible en: <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/la-atmosfera-la-envoltura-que-nos-protege/estructura-de-la-atmosfera-l36495>.

**GUERRERO, R.** *Historia de la televisión en el Ecuador y en la ciudad de Loja*. [en línea], Disponible en: [https://www.utpl.edu.ec/jorgeluisjaramillo/wp-content/uploads/2010/06/roberto\\_guerrero-historia-de-la-TV-en-Ecuador-y-en-Loja.pdf](https://www.utpl.edu.ec/jorgeluisjaramillo/wp-content/uploads/2010/06/roberto_guerrero-historia-de-la-TV-en-Ecuador-y-en-Loja.pdf).

**HERNANDO RÁBANOS, J., MENDO, L. y RIERA, J.** *Transmisión por radio* [en línea]. Sexta. Madrid: CENTRO DE ESTUDIOS RAMÓN ARECES, S. A. [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/205037129/Transmision-por-radio-Sexta-Edicion-H-Rabanos>.

**HUFFORD, G.** *The ITS Irregular Terrain Model, version 1.2.2*. [blog]. Disponible en: <https://www.its.bldrdoc.gov/research-topics/radio-propagation-software/itm/itm.aspx>.

**HUIDOBRO, J.** *Radiocomunicaciones* [en línea]. [Consulta: 17 junio 2021]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=xlaIac8YXvUC&oi=fnd&pg=PR1&dq=radiocomunicaciones&ots=8Qy3v98s6m&sig=ROkcp11yBC9\\_nRm0Tk4njXqbeOk&redir\\_esc=y#v=onepage&q=radiocomunicaciones&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=xlaIac8YXvUC&oi=fnd&pg=PR1&dq=radiocomunicaciones&ots=8Qy3v98s6m&sig=ROkcp11yBC9_nRm0Tk4njXqbeOk&redir_esc=y#v=onepage&q=radiocomunicaciones&f=false).

**KASAMPALIS, S., LAZARIDIS, P.I., ZAHARIS, Z.D., BIZOPOULOS, A., ZETTAS, S. y COSMAS, J.** "Comparison of Longley-Rice, ITU-R P.1546 and Hata-Davidson propagation models for DVB-T coverage prediction". *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcastin* [en línea]. 2014. vol. 29, pp. 2-4. ISSN 21555052. DOI 10.1109/BMSB.2014.6873518.

**LUQUE ORDÓÑEZ, J.** "Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico". *Autores Científico-Técnicos y Académicos* [en línea]. 2012. pp. 17-31. 2012. Disponible en: [https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/062017.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf)

**MARTÍNEZ, G. y CALUÑA, M.** Diseño de un modelo estadístico de propagación para la banda de radiodifusión fm aplicable en la ciudad de Riobamba. [En línea]. (Trabajo de Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5445>

**MARTÍNEZ, J. y MORÁN, J.** Medición y modelamiento del rango de frecuencias asignado a radiodifusión FM de la banda VHF (88-108 MHz) del espectro radioeléctrico en escenario interior de un edificio en el centro de Guayaquil [En línea]. (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2016. Disponible en: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10788/1/Tesis Final.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10788/1/Tesis%20Final.pdf).

**MARTÍNEZ, J.L.,** *La refracción en las ondas y radioenlaces* [blog]. [Consulta: 3 junio 2021]. Disponible en: <https://www.prored.es/la-refraccion-en-las-ondas-y-radioenlaces/>.

**MARTÍNEZ, J.L.,** *Zonas de Fresnel en un radioenlace.* [blog]. [Consulta: 4 junio 2021]. Disponible en: <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>.

**METRO ECUADOR.,** *Apagón analógico: Hasta el 2023 deberás tener un televisor digital o un decodificador en la televisión de tu hogar* [blog]. [Consulta: 3 junio 2021]. Disponible en: <https://www.metroecuador.com.ec/ec/noticias/2018/09/22/apagon-analogico-2023-deberas-televisor-digital-decodificador-la-television-hogar.html>.

**ORTIZ, C.,** *Los inicios de la radiodifusión en Ecuador.* [blog]. [Consulta: 17 junio 2021]. Disponible en: <https://www.culturaenecuador.org/artes/personajes-de-chimborazo/193-los-inicios-de-la-radiodifusion-en-ecuador-radio-el-prado.html>.

**POPOOLA, J.J., PONNLE, A.A., OLASOJI, Y.O. y OYETUNJI, S.A.** "Investigation of the need for specific propagation model for specific environment based on different terrain characteristics". IJUM Engineering Journal [en línea]. 2018. vol. 19, no. 2, pp. 92-104. [Consulta: 30 mayo 2021]. ISSN 22897860. DOI 10.31436/ijumej.v19.i2.886.

**PROMSTALL,** *Digital y analógico. Señales analógicas y digitales. Las diferencias. Ventajas y desventajas.* [blog]. [Consulta: 18 junio 2021]. Disponible en: <https://promstall.ru/es/tv/digital-and-analog-analog-and-digital-signals.html>.

**RAFFINO, M.,** *Espectro Electromagnético - Concepto, regiones, usos e importancia.* [blog]. [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en: <https://concepto.de/espectro-electromagnetico/>.

**RAMOS, I. y RINCÓN, E.** "La evolución de la radio y las implicaciones tecno-socio-culturales en la audiencia: De oyente a usuario en la recepción del mensaje". Espacio Abierto

[en línea]. 2007. vol. 16, no. 2, pp. 313-329. ISSN 1315-0006.

**RICE, P.L., LONGLEY, A.G., NORTON, K.A. y BARSIS, A.P.** "Transmission Loss Predictions for Tropospheric Communication Circuits". National Bureau of Standards [en línea]. 1965. vol. 1, no. 1, pp. 204. ISSN 0307-1847. Disponible en: [extension://bfdogplmndidlpjfhiojckpakkdjkkil/pdf/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fnlpubs.nist.gov%2Fnistpubs%2FLegacy%2FTN%2Fnbstechnicalnote101-1.pdf](https://bldogplmndidlpjfhiojckpakkdjkkil/pdf/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fnlpubs.nist.gov%2Fnistpubs%2FLegacy%2FTN%2Fnbstechnicalnote101-1.pdf).

**RMS GEOESPACIAL**, *GNSS RTK SP80 con T41 c/Survey PRO GNSS - RMS Geoespacial*. [blog]. [Consulta: 27 agosto 2021]. Disponible en: <https://rmsgeoespacial.com/producto/sistema-rtk-gnss-sp80-con-t41-csurvey-pro-gnss/>.

**RUBINSTEIN, T.N.** "Manual Propagación de las ondas radioeléctricas en sistemas terrenales móviles terrestres en las bandas de ondas métricas y decimétricas". Radiocommunication Bureau [en línea]. 2002. pp. 122. Disponible en: <https://www.itu.int/pub/R-HDB-44/es>

**SALAZAR, A.**, *Capítulo 4 la modulación 8-VSB*. [blog]. [Consulta: 18 junio 2021]. Disponible en: <https://docplayer.es/3093974-Capitulo-4-la-modulacion-8-vsbs.html>.

**SANDOVAL, F.**, *Large-scale path loss*. [blog]. [Consulta: 7 junio 2021]. Disponible en: <https://www.slideshare.net/fasandovaln/tema-2-largescale-path-loss>.

**SILVA, F.S., MATOS, L.J., PERES, F.A.C. y SIQUEIRA, G.L.** "Coverage prediction models fitted to the signal measurements of digital TV in Brazilian cities". SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference Proceedings [en línea]. 2013. DOI 10.1109/IMOC.2013.6646535. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6646535>

**TOMASI, W., GLORIA, I., HERNÁNDEZ, M., VIRGILIO, I. y POZO, G.**, *Sistemas de comunicaciones opticas* [en línea]. ISBN 9702603161. Disponible en: <http://fernandoarciniega.com/books/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicion.pdf>.

**UIT-R P.1546-4.** *Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz.*

**UIT-R P.526-11.** *Propagación por difracción*

**Res. UIT-R 4-3.** *La Asamblea de Radiocomunicaciones*

**UIT-R P.525-4.** *Cálculo de la atenuación en el espacio libre.*

## ANEXOS

### ANEXO A: Código de Matlab para la obtención de las distancias transmisor-receptor

```
clear all
x=xlsread('Coordenadas');
lat=x(:,1);
lon=x(:,2);
tx.CoordinateSystem = 'geographic';
servicio=input('Elija el servicio de FM o TV: ');
switch servicio
    case 'FM'
        tx=txsite('Name','Cerro Cacha','Latitude',-1.691222,'Longitude',-78.715494);
    case 'TV'
        tx=txsite('Name','Cerro San Francisco','Latitude',-1.696500,'Longitude',-78.666556);
end
rx.CoordinateSystem = 'geographic';
rx=rxsite('Latitude',lat,'Longitude',lon);
dm=distance(tx,rx); %Distancia en metros
dkm=dm/1000; %Distancia en km
```

### ANEXO B: Código de Matlab para la obtención de los valores de intensidad de campo predecidos por la recomendación UIT-R P.525

```
clear all
x=xlsread('Distancias');
servicio=input('Elija el servicio de FM o TV: ');
switch servicio
    case 'FM'
        p=1450;
        G=6.65;
        f=106.5;
        d=x(:,1);
    case 'TV'
        p=800;
        G=13.15;
        f=55.25;
        d=x(:,2);
end
PIRE=10*log10(p)+G-1;
for i=1:length(d)
    lbf(i)=32.45+20*log10(f)+20*log10(d(i));
    Pr(i)=PIRE-lbf(i);
    E(i)=Pr(i)+20*log10(f)+107.2;
end
```

**ANEXO C:** Código de Matlab para la obtención de los valores de intensidad de campo predecidos por la recomendación UIT-R P.1546

```
clear all
x=xlsread('Coordenadas'); %Excel 'Coordenadas' contiene la información geográfica de los
puntos de medición
y=xlsread('Distancias'); %Excel 'Distancias' contiene las distancias del transmisor al punto de
medición
alt=x(:,3);
servicio=input('Elija el servicio de FM o TV: ');
switch servicio
    case 'FM'
        d=y(:,1);
        altx=3540;
        f=106.5;
        per=3.246;
    case 'TV'
        d=y(:,2);
        altx=3527;
        f=55.25;
        per=8;
end
ha=30; %Altura de la antena transmisora
hb=1.5; %Altura de la antena receptora
finf=100;
fsup=600;
h2=hb; %altura nominal del receptor;
R=10;
h1i=10;
alturas = [10, 20, 37.5, 75, 150, 300, 600, 1200];
for i=1:length(alt)
    hef(i)=alttx+ha-(alt(i)-hb);
    if (d(i) < 15) %Cálculo de la altura de la antena transmisora h1
        if (d(i) <= 3)
            h1(i) = ha;
        else
            h1(i) = ha+(hef(i)-ha).*(d(i)-3)/12;
        end
    else
        h1(i) = hef(i);
    end
    [dinf(i), dsup(i)] = FindDNominals(d(i)); %Función FindDNominals Author: Jef Statham -
ITU_P1546 %Busca los valores entre los que se encuentra la distancia
    [hinf(i), hsup(i)] = searchclosest(alturas,h1(i)); %Función searchclosest Author: Dr. Murtaza
Khan %Busca los valores entre los que se encuentra el h1 calculado
end
%Valores extraídos del excel 'Rec_P_1546_2_Tab_values' Author: Jef Statham
```

```

figura1=xlsread('Rec_P_1546_2_Tab_values',1); %f=100 MHz, trayecto terrestre, 50%
ubicaciones
figura9=xlsread('Rec_P_1546_2_Tab_values',2); %f=600 MHz, trayecto terrestre, 50%
ubicaciones
for n=1:length(dinf)
    d1=dinf(:,n);
    h11=hinf(:,n);
    for c=1:10
        for fi=1:79
            if figura1(fi,1)==d1 && figura1(1,c)==h11 %Cálculo del campo para dinf y dsup en
hinf y hsup con f=100MHz
                Ei1=figura1(fi,c);
                Es1=figura1(fi+1,c);
                Einf1(n)=Ei1;
                Esup1(n)=Es1;
                Ei2=figura1(fi,c+1);
                Es2=figura1(fi+1,c+1);
                Einf2(n)=Ei2;
                Esup2(n)=Es2;
            elseif figura1(fi,1)==d1 && figura1(1,c)==h11
                Ei5=figura1(fi+1,c);
                Es5=figura1(fi+2,c);
                Einf5(n)=Ei5;
                Esup5(n)=Es5;
            end
            if figura9(fi,1)==d1 && figura9(1,c)==h11 %Cálculo del campo para dinf y dsup en hinf
y hsup con f=600MHz
                Ei3=figura9(fi,c);
                Es3=figura9(fi+1,c);
                Einf3(n)=Ei3;
                Esup3(n)=Es3;
                Ei4=figura9(fi,c+1);
                Es4=figura9(fi+1,c+1);
                Einf4(n)=Ei4;
                Esup4(n)=Es4;
            elseif figura9(fi,1)==d1 && figura9(1,c)==h11
                Ei6=figura9(fi+1,c);
                Es6=figura9(fi+2,c);
                Einf6(n)=Ei6;
                Esup6(n)=Es6;
            end
        end
    end
end
%Interpolación de intensidad de campo debido a la distancia para h1 inferior
Edinf(n)=Einf1(n)+(((Esup1(n)-Einf1(n))*log10(d(n)/dinf(n)))/log10(dsup(n)/dinf(n)));
Edsup(n)=Einf2(n)+(((Esup2(n)-Einf2(n))*log10(d(n)/dinf(n)))/log10(dsup(n)/dinf(n)));
Edinf1(n)=Einf3(n)+((Esup3(n)-Einf3(n))*log10(d(n)/dinf(n))/log10(dsup(n)/dinf(n)));

```



```

Edsup1(n)=Einf4(n)+((Esup4(n)-Einf4(n))*log10(d(n)/dinf(n))/log10(dsup(n)/dinf(n)));
%Interpolación de intensidad de campo debido a h1 con f=100MHz
E100(n)=Edinf(n)+((Edsup(n)-Edinf(n))*log10(h1(n)/hinf(n))/log10(hsup(n)/hinf(n)));
%Interpolación de intensidad de campo debido a h1 con f=600MHz
E600(n)=Edinf1(n)+((Edsup1(n)-Edinf1(n))*log10(h1(n)/hinf(n))/log10(hsup(n)/hinf(n)));
%Interpolación de intensidad de campo debido a la frecuencia
Ef(n)=E100(n)+((E600(n)-E100(n))*log10(f/finf)/log10(fsup/finf));
%Interpolación de intensidad de campo debido a la distancia para h1=10m
Edh1100(n)=Einf5(n)+((Esup5(n)-Einf5(n))*log10(d(n)/dinf(n))/log10(dsup(n)/dinf(n)));
Edh1600(n)=Einf6(n)+((Esup6(n)-Einf6(n))*log10(d(n)/dinf(n))/log10(dsup(n)/dinf(n)));
Efh1(n)=Edh1100(n)+((Edh1600(n)-Edh1100(n))*log10(f/finf)/log10(fsup/finf));
end
Knu = 0.0108*sqrt(f);
Kh2 = 3.2+6.2*log10(f);
for i=1:length(h1)
    if (h1(i) < 6.5*d(i)+R)
        Rm(i)= R;
    else
        Rm(i)=(1000*d(i)*R-15*h1(i))/(1000*d(i)-15);
    end
    dh2(i)=(0.0000389*f*h2*h1(i))/(4.1*(sqrt(h1(i))+sqrt(h2)));
    d10(i)=(0.0000389*f*R*h1(i))/4.1*(sqrt(h1(i))+sqrt(R));
    hdif(i)=Rm(i)-h2;
    tclut(i)=atan(hdif(i)/27)/pi*180;
    v(i) = Knu*sqrt(hdif(i).*tclut(i));
    J(i) = 6.9+20*log10(sqrt((v(i)-0.1)^2+1)+v(i)-0.1);
    if (h2<Rm(i))
        corr9(i)=6.03-J(i); %corr9: Corrección de la altura del transmisor
        if d(i)>=d10
            corr9(i)=Kh2*log10(h2/Rm(i));
        elseif (d(i)<d10(i)) && (d(i)>dh2(i))
            corr9(i)=Kh2*log10(h2/R)*(log10(d(i)/dh2(i))/log10(d10(i)/dh2(i)));
        else d(i)<=dh2(i);
            corr9(i)=0;
        end
    elseif (Rm(i)<R)
        corr9(i)=Kh2*log10(R/Rm(i));
    end
    %corr:10 Corrección debido al entorno suburbano
    if (d(i)<15) && ((h1(i)-R)<150)
        corr10(i)=-3.3*(log10(f))*(1-0.85*log10(d(i)))*(1-0.46*log10(1+ha-R));
        E(i)=Ef(i)+corr9(i)+corr10(i)+10*log10(per);
    end
    E(i)=Ef(i)+corr9(i)+10*log10(per); %Corrección de la intensidad de campo debido al P.E.R
end
%Ajuste región climática
N=252.8731; %Refractividad de la superficie

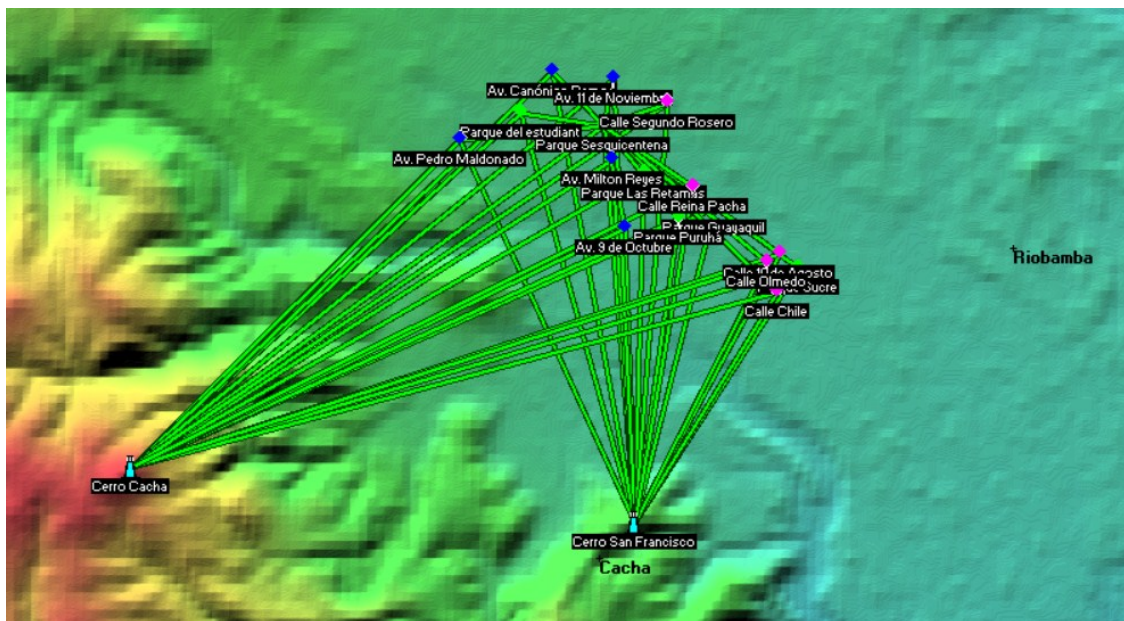
```

```

dN=-0.136*N;
dN0=-43.3;
deltaN=dN0-dN;
if deltaN<=0
    K=0.08*deltaN;
else
    K=14.94-(6.693*10^-6)*(1494-deltaN)^2;
end
for i=1:length(d)
    Emax(i)=106.9-20*log10(d(i)); %Intensidad de campo máxima
    E1(i)=K*(1-exp(-d(i)/50))*exp(-d(i)/6000);
    Efh11(i)=Efh1(i)-E1(i);
    En(i)=Efh11(i)+(E(i)-Efh1(i))*(Emax(i)-Efh11(i))/(Emax(i)-Efh1(i));
end

```

**ANEXO D:** Configuración del software Radio Mobile para la obtención de los valores de intensidad de campo predecidos por el modelo Longley-Rice.



Enlaces entre las 16 locaciones de medición con los transmisores ubicados en el Cerro Cacha y Cerro San Francisco

Propiedades de las redes

Lista de todas las redes

- FM - Radio Ciudad
- TV - Ecuavisa
- Red 3
- Red 4
- Red 5
- Red 6
- Red 7
- Red 8
- Red 9
- Red 10
- Red 11
- Red 12
- Red 13
- Red 14
- Red 15
- Red 16
- Red 17
- Red 18
- Red 19
- Red 20
- Red 21
- Red 22
- Red 23
- Red 24
- Red 25
- Red 26
- Red 27
- Red 28
- Red 29

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología Miembros Sistemas Estilo

Nombre de la red: FM - Radio Ciudad

Refractividad de la superficie (Unidades-N): 253

Frecuencia mínima (MHz): 106,39

Conductividad del suelo (S/m): 0,5

Frecuencia máxima (MHz): 106,61

Permitividad relativa al suelo: 30

Polarización:
 

- Vertical
- Horizontal

Modo estadístico:
 

- Intento % de tiempo: 50
- Accidental % de ubicaciones: 50
- Móvil % de situaciones: 70
- Difusión

Clima:
 

- Ecuatorial
- Continental sub-tropical
- Marítimo sub-tropical
- Desierto
- Continental templado
- Marítimo templado sobre la tierra
- Marítimo templado sobre el mar

a)

Propiedades de las redes

Lista de todas las redes

- FM - Radio Ciudad
- TV - Ecuavisa
- Red 3
- Red 4
- Red 5
- Red 6
- Red 7
- Red 8
- Red 9
- Red 10
- Red 11
- Red 12
- Red 13
- Red 14
- Red 15
- Red 16
- Red 17
- Red 18
- Red 19
- Red 20
- Red 21
- Red 22
- Red 23
- Red 24
- Red 25
- Red 26
- Red 27
- Red 28
- Red 29

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología Miembros Sistemas Estilo

Nombre de la red: TV - Ecuavisa

Refractividad de la superficie (Unidades-N): 253

Frecuencia mínima (MHz): 55,2

Conductividad del suelo (S/m): 0,5

Frecuencia máxima (MHz): 55,3

Permitividad relativa al suelo: 30

Polarización:
 

- Vertical
- Horizontal

Modo estadístico:
 

- Intento % de tiempo: 50
- Accidental % de ubicaciones: 50
- Móvil % de situaciones: 70
- Difusión

Clima:
 

- Ecuatorial
- Continental sub-tropical
- Marítimo sub-tropical
- Desierto
- Continental templado
- Marítimo templado sobre la tierra
- Marítimo templado sobre el mar

b)

Configuración de los parámetros para la red de a) FM y b) TV

Lista de todas las redes

- FM - Radio Ciudad
- TV - Ecuavisa
- Red 3
- Red 4
- Red 5
- Red 6
- Red 7
- Red 8
- Red 9
- Red 10
- Red 11
- Red 12
- Red 13
- Red 14
- Red 15
- Red 16
- Red 17
- Red 18
- Red 19
- Red 20
- Red 21
- Red 22
- Red 23
- Red 24
- Red 25
- Red 26
- Red 27
- Red 28
- Red 29

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología **Miembros** Sistemas Estilo

Lista de todas las unidades

- Cerro San Francisco
- Cerro Cacha
- Parque Sesquicentena
- Parque Guayaquil
- Parque Las Retamas
- Parque Puruhá
- Parque Sucre
- Parque del estudiant
- Av. 9 de Octubre
- Av. Milton Reyes
- Av. Pedro Maldonado
- Av. Canónigo Ramos
- Av. 11 de Noviembre
- Calle 10 de Agosto
- Calle Chile
- Calle Olmedo
- Calle Segundo Rosero
- Calle Reina Pacha
- Unidad 19

Miembro de FM - Radio Ciudad

Rol de Cerro Cacha

Control

Sistema

FM

Altura de antena (m)

Sistema 30

Otro 0,5

Dirección del antena

Parque Guayaquil

Azimut (\*) Ang. de elevación (\*)

66,1 -6,159386

Ver patrón

a)

Lista de todas las redes

- FM - Radio Ciudad
- TV - Ecuavisa
- Red 3
- Red 4
- Red 5
- Red 6
- Red 7
- Red 8
- Red 9
- Red 10
- Red 11
- Red 12
- Red 13
- Red 14
- Red 15
- Red 16
- Red 17
- Red 18
- Red 19
- Red 20
- Red 21
- Red 22
- Red 23
- Red 24
- Red 25
- Red 26
- Red 27
- Red 28
- Red 29

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología **Miembros** Sistemas Estilo

Lista de todas las unidades

- Cerro San Francisco
- Cerro Cacha
- Parque Sesquicentena
- Parque Guayaquil
- Parque Las Retamas
- Parque Puruhá
- Parque Sucre
- Parque del estudiant
- Av. 9 de Octubre
- Av. Milton Reyes
- Av. Pedro Maldonado
- Av. Canónigo Ramos
- Av. 11 de Noviembre
- Calle 10 de Agosto
- Calle Chile
- Calle Olmedo
- Calle Segundo Rosero
- Calle Reina Pacha
- Unidad 19

Miembro de TV - Ecuavisa

Rol de Cerro San Francisco

Control

Sistema

TV

Altura de antena (m)

Sistema 30

Otro 0,5

Dirección del antena

Parque Guayaquil

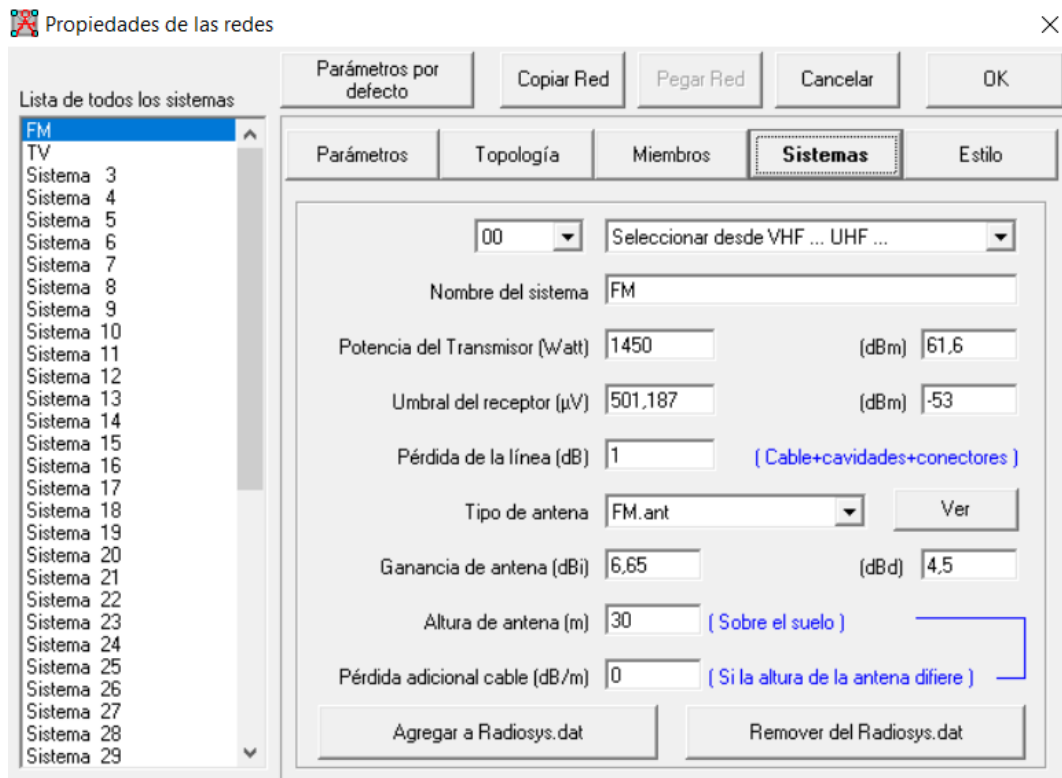
Azimut (\*) Ang. de elevación (\*)

14,1 -12,726477

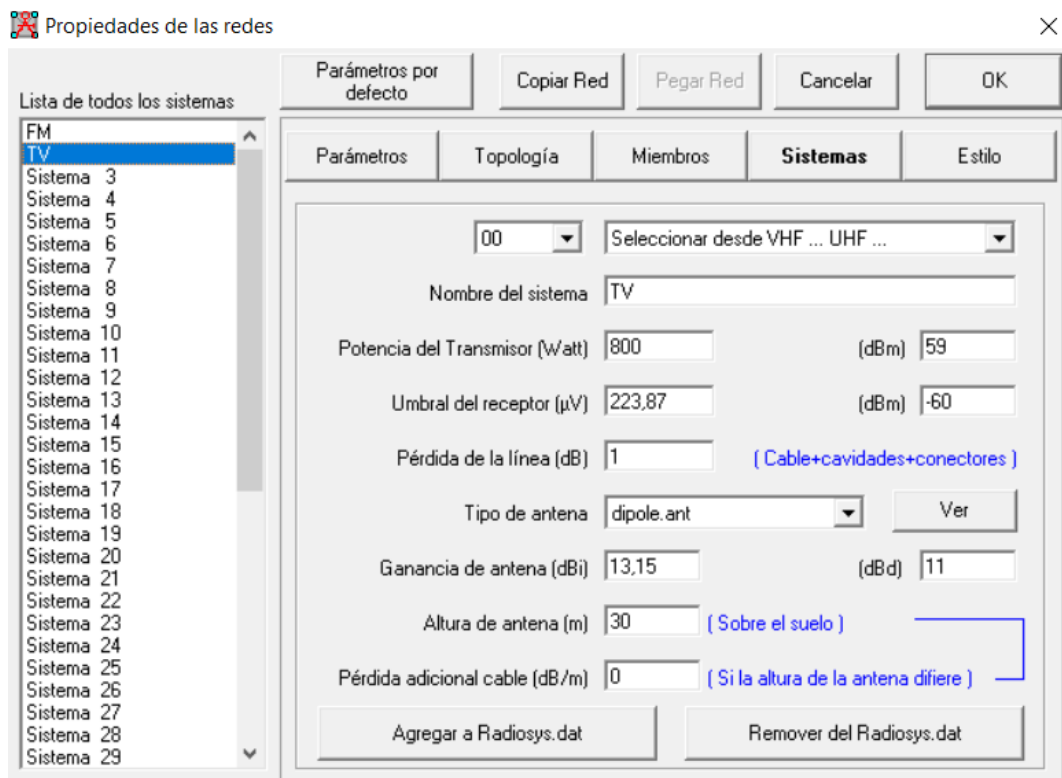
Ver patrón

b)

Configuración de los miembros para la red de a) FM y b) TV

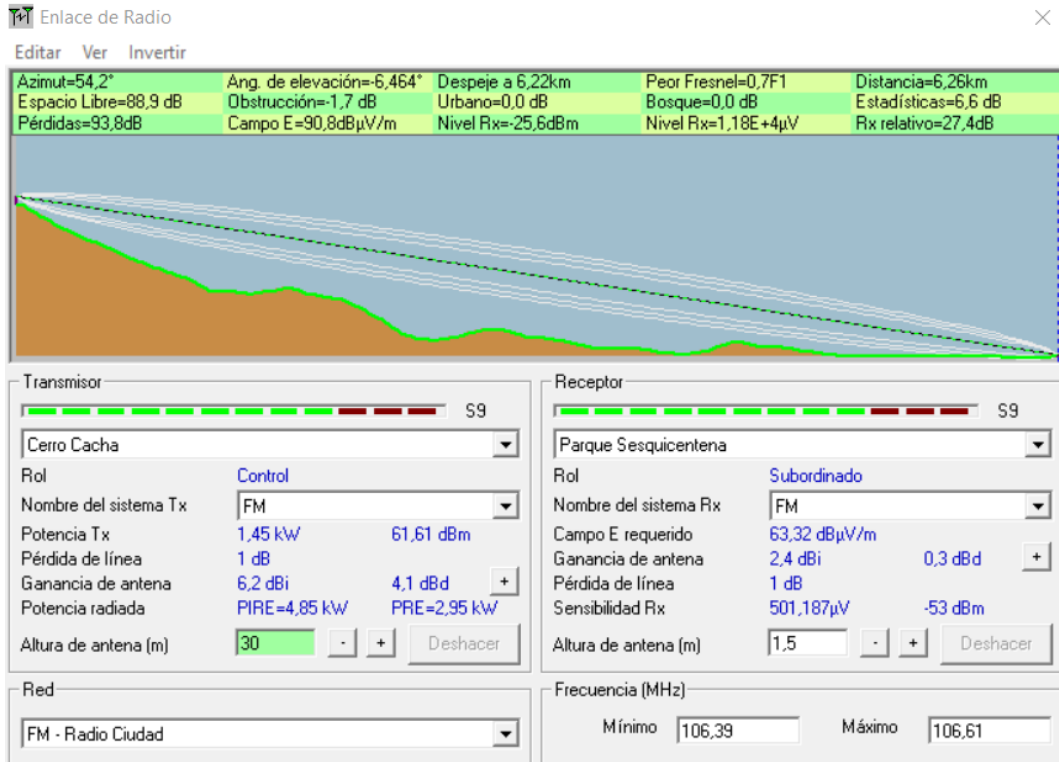


a)

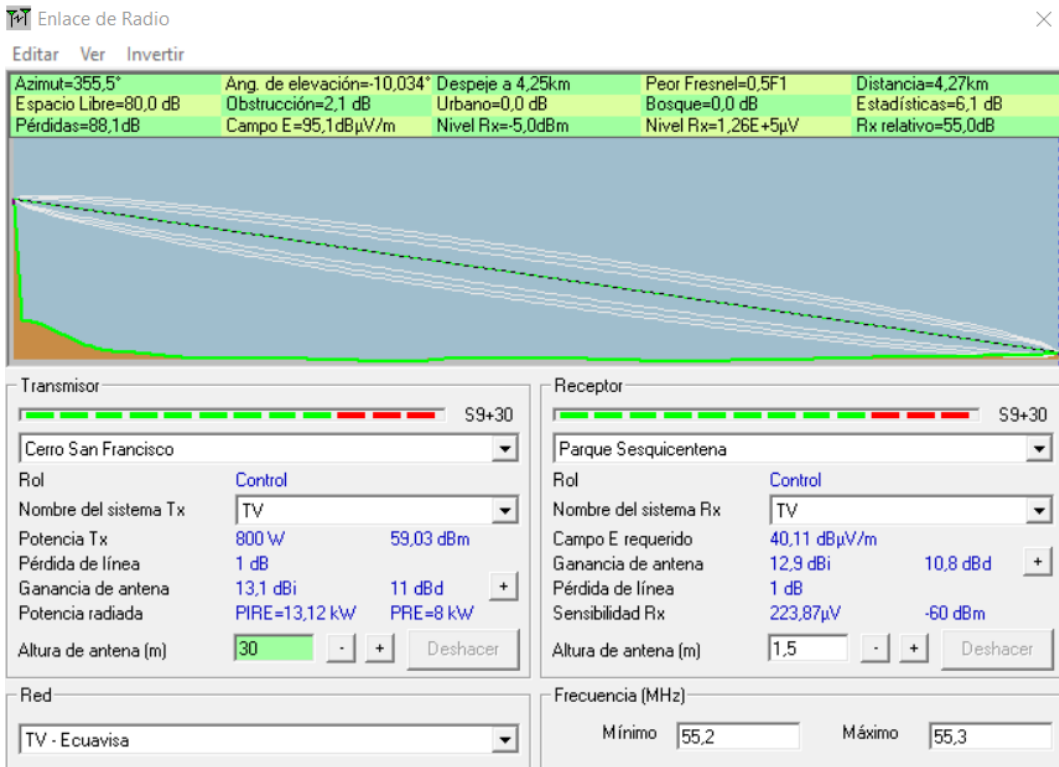


b)

Configuración del sistema de a) FM y b) TV



a)



b)

Enlace de radio de a) FM y b) TV en el Parque Sesquicentenario