



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA, Y
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA ELECTRÓNICA, Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL BASADO EN
EL RENDIMIENTO DEL MODELO DE PROPAGACIÓN LONGLEY-
RICE EN LA FRONTERA NORORIENTE DEL ECUADOR**

AUTOR:

CEVALLOS VÁSQUEZ, STEPHANY POLETTE

DIRECTOR: MAYO. ING. PAREDES CALDERÓN, DARWIN

MANOLO

SANGOLQUÍ

2018



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL BASADO EN EL RENDIMIENTO DEL MODELO DE PROPAGACIÓN LONGLEY-RICE EN LA FRONTERA NORORIENTE DEL ECUADOR” realizado por la señorita STEPHANY POLETTE CEVALLOS VÁSQUEZ , ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita STEPHANY POLETTE CEVALLOS VÁSQUEZ para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 30 de Enero del 2018

MAYO. ING. DARWIN MANOLO PAREDES CALDERÓN, MSc.

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, STEPHANY POLETTE CEVALLOS VÁSQUEZ, con cédula de identidad N° 1718569898, declaro que este trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL BASADO EN EL RENDIMIENTO DEL MODELO DE PROPAGACIÓN LONGLEY-RICE EN LA FRONTERA NORORIENTE DEL ECUADOR” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 30 de Enero del 2018

STEPHANY POLETTE CEVALLOS VÁSQUEZ

C.C. 1718569898



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, STEPHANY POLETTE CEVALLOS VÁSQUEZ autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL BASADO EN EL RENDIMIENTO DEL MODELO DE PROPAGACIÓN LONGLEY-RICE EN LA FRONTERA NORORIENTE DEL ECUADOR” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 30 de Enero del 2018

STEPHANY POLETTE CEVALLOS VÁSQUEZ

C.C. 1718569898

DEDICATORIA

El presente Trabajo quiero dedicarlo a Dios quien ha forjado mi camino a través de su amor permitiéndome día a día seguir adelante, mi fuente de inspiración en mis momentos de angustias, esmero, dedicación, alegría y tristeza. *No podre presumir de mi amor por él, porque a menudo le fallo, pero puedo presumir de su amor pues hasta el día de hoy Jehová nunca me ha fallado.*

Quiero dedicar este logro a mi Familia lo más valioso en este mundo. Mi madre quien me ha enseñado el verdadero significado de perseguir tus sueños y lograr tus objetivos, el mejor ejemplo de mi vida y la mujer que algún día quiero llegar a ser. Huguito quien ha sido un hombre de bien y me ha enseñado día a día a seguir mis ideales por el sendero correcto. A mi hermana quien ha estado en los momentos más significativos de mi vida y siempre dispuesta a escucharme te amo Arlette. Carla porque pese a la distancia nunca dejaste de ser una hermana para mi me brindaste tu apoyo incondicional y la comprensión no solo de una tía sino de una amiga. Martha Cecilia mi segunda madre su afecto y cariño son una gran bendición en mi vida han sido parte especial para la culminación de mi trabajo. Mi Familia son lo más lindo que tengo en mi vida. Cristhian quiero también dedicar este trabajo a mi mejor amigo, una increíble persona quien me encanta tener a mi lado como mi novio gracias por hacer de mis días un motivo más para sonreír o un motivo más para aprender a ser mejor. Los amo demasiado.

AGRADECIMIENTO

Quiero dar gracias a Dios por darme la vida para disfrutar cada etapa, y permitirme concluir una meta más.

Gracias a mi Familia quienes me han demostrado que existen una y mil razones para sonreír. Porque son el más grande tesoro que Dios me ha regalado nunca podre agradecer todo lo que han hecho por mí.

Quiero dar gracias a mi Director de Tesis Mayor Manolo Paredes, quien me ha apoyado incondicionalmente en cada etapa de mi proyecto, nunca desistió de mi capacidad, muchas gracias por depositar su esperanza en mí. Un hombre que admiro y respeto mucho, nada de esto sería posible sin usted.

Porque la mejor parte de mi vida en la Universidad fueron las personas que compartieron conmigo gracias amigos por hacer mi sonrisa más brillante y mis días de tristeza más pequeños, la Universidad no sería la misma sin ustedes.

Gracias querida Universidad de las Fuerzas Armadas porque me han permitido culminar este escalón y en ella, gracias a todas las personas que fueron participes en este proceso a los profesores que a través de sus conocimientos me han instruido día a día con paciencia y dedicación.

Gracias a mis momentos de angustia y mis errores, gracias al tiempo perdido, gracias a las materias reprobadas y gracias a las pruebas suspensas. Porque sin ellas no podría haber triunfado.

“Lo mejor del futuro solo llega una vez al día”

Abraham Lincoln

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| CERTIFICACIÓN | i |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD | ii |
| AUTORIZACIÓN..... | iii |
| DEDICATORIA..... | iiv |
| AGRADECIMIENTO..... | v |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | vi |
| ÍNDICE DE TABLAS | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xiii |
| RESUMEN..... | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| CAPÍTULO 1 | xvi |
| 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO..... | 1 |
| 1.1.Introducción..... | 1 |
| 1.2.Antecedentes..... | 2 |
| 1.3. Objetivos de la Investigación..... | 3 |
| 1.4. Justificación e Importancia..... | 4 |
| CAPÍTULO 2 | 6 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 2.1. Propagación..... | 6 |
| 2.1.1. Fenómenos de la propagación..... | 22 |
| 2.1.1.1. Atenuación..... | 23 |

| | |
|--|----|
| 2.1.1.2. Absorción..... | 24 |
| 2.1.1.3. Refracción..... | 24 |
| 2.1.1.4. Reflexión..... | 24 |
| 2.1.1.5. Difracción..... | 25 |
| 2.2. Banda de Frecuencias..... | 9 |
| 2.3. Antenas..... | 10 |
| 2.3.1. Características de las antenas..... | 10 |
| 2.3.1.1. Ganancia..... | 26 |
| 2.3.1.2. Diagrama de Radiación..... | 27 |
| 2.3.1.3. Directividad..... | 28 |
| 2.4. Radiocomunicación HF..... | 12 |
| 2.4.1. Propagación HF..... | 12 |
| 2.3.1. Índice de refracción troposférica..... | 10 |
| 2.5. Modelos de propagación..... | 15 |
| 2.5.1. Modelo de espacio libre..... | 31 |
| 2.5.2. Modelo de propagación Longley Rice..... | 32 |
| 2.5.2.1. Límites..... | 33 |
| 2.5.2.1. Parámetros Ambientales..... | 34 |
| 2.6. Simulador Radio Mobile..... | 21 |
| 2.7. Método Propuesto por la ITU..... | 22 |
| CAPÍTULO 3 | 24 |

| | |
|---|----|
| 3. ESTADÍSTICA INFERENCIAL | 24 |
| 3.1. Introducción..... | 24 |
| 3.2. Tipos de Estimación..... | 24 |
| 3.2.1 Estimación Puntual..... | 39 |
| 3.2.2. Estimación Intervalar..... | 39 |
| 3.2.2. Teorema central del límite..... | 40 |
| 3.3. Elección del tamaño muestral..... | 28 |
| CAPÍTULO 4 | 30 |
| 4.DISEÑO DE UN RADIOENLACE..... | 30 |
| 4.1. Planificación inicial de un Radioenlace..... | 30 |
| 4.2.Situación Geográfica..... | 30 |
| 4.3.Ubicación de Estudio..... | 31 |
| 4.4. Determinación de Equipos..... | 36 |
| 4.5. Instalación de Elementos..... | 41 |
| 4.6. Balance de Enlace..... | 44 |
| 4.6.1. Sistema de Transmisión..... | 68 |
| 4.6.2. Sistema de Recepción..... | 68 |
| 4.6.3. Cálculo de Parametros del Radioenlace..... | 68 |
| 4.6.3.1. Potencia de Recepción..... | 67 |
| 4.7.Descripción Técnica de la Red..... | 47 |
| 4.7.1. Pasos para la medición de campo..... | 69 |
| 4.7.2. Pasos para la simulación del radioenlace en software Radio Mobile..... | 70 |

| | |
|--|-----|
| 4.8. Comprobación de parámetros del enlace simulados y medidos..... | 53 |
| 4.9. Aplicación estadística para el cálculo del tamaño muestral..... | 68 |
| 4.10. Tabla resumen..... | 94 |
| CAPÍTULO 5 | 95 |
| 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 95 |
| 5.1. Comparación entre potencia de recepción y tamaño muestral..... | 95 |
| 5.2. Comparación entre distancia y potencia de recepción..... | 96 |
| 5.3. Análisis del error porcentual..... | 97 |
| 5.4. Medición eficiencia del modelo de propagación Longley Rice..... | 97 |
| 5.5. Medidores de cobertura..... | 98 |
| 5.6. Análisis margen de error en el tamaño muestral..... | 98 |
| 5.7. Análisis Nivel de cobertura..... | 99 |
| CAPÍTULO 6 | 101 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES..... | 101 |
| 6.1. Conclusiones..... | 101 |
| 6.2. Recomendaciones..... | 102 |
| REFERENCIAS | 103 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. <i>Bandas de Frecuencia</i> | 9 |
| Tabla 2. <i>Tipos de Terreno</i> | 18 |
| Tabla 3. <i>Tipos de Clima</i> | 19 |
| Tabla 4. <i>Permitividad y Conductividad</i> | 21 |
| Tabla 5. <i>Áreas Bajo la Curva</i> | 27 |
| Tabla 6. <i>Coordenadas puntos de recepción</i> | 33 |
| Tabla 7. <i>Configuración de Equipos</i> | 36 |
| Tabla 8. <i>Características de Equipos</i> | 37 |
| Tabla 9. <i>Características Transceptor</i> | 38 |
| Tabla 10. <i>Parámetros de cables y conectores</i> | 41 |
| Tabla 11. <i>Longitud total del dipolo a diferentes frecuencias</i> | 43 |
| Tabla 12. <i>Parámetros del Transmisor</i> | 44 |
| Tabla 13. <i>Parámetros del Receptor</i> | 45 |
| Tabla 14. <i>Mediciones de campo a frecuencia de 20 MHz</i> | 55 |
| Tabla 15. <i>Mediciones de campo a frecuencia de 20 MHz</i> | 58 |
| Tabla 16. <i>Mediciones de campo a frecuencia de 25 MHz</i> | 61 |
| Tabla 17. <i>Medición en campo nivel medio 25 MHz a distancia 2610 m</i> | 62 |
| Tabla 18. <i>Mediciones en campo a frecuencia de 25 MHz</i> | 64 |
| Tabla 19. <i>Mediciones de campo a frecuencia de 25 MHz</i> | 66 |
| Tabla 20. <i>Mediciones en campo a frecuencia de 30 MHz</i> | 67 |

| | |
|--|----|
| Tabla 21. <i>Niveles de confianza para diferentes probabilidades de fracaso</i> | 81 |
| Tabla 22. <i>Porcentaje muestras de 1810 m a 20 MHz</i> | 82 |
| Tabla 23. <i>Resultados obtenidos del tamaño de la muestra a 20 MHz</i> | 82 |
| Tabla 24. <i>Resultados de probabilidad de muestras medidas</i> | 83 |
| Tabla 25. <i>Resultados obtenidos del tamaño de la muestra con distancia 2060m</i> | 84 |
| Tabla 26. <i>Resultados obtenidos del tamaño de la muestra con distancia 1810 m</i> | 85 |
| Tabla 27. <i>Resultados correspondiente a la cantidad de muestras de 1810 m</i> | 86 |
| Tabla 28. <i>Análisis porcentual de medidas aceptables y no aceptables</i> | 87 |
| Tabla 29. <i>Resultados correspondiente a la cantidad de muestras de 2610 m</i> | 87 |
| Tabla 30. <i>Análisis porcentual de medidas aceptables y no aceptables para 2860 m</i> | 88 |
| Tabla 31. <i>Resultados correspondiente a la cantidad de muestras para 2860 m</i> | 89 |
| Tabla 32. <i>Análisis porcentual de medidas aceptables y no aceptables para 11650 m</i> | 78 |
| Tabla 33. <i>Resultados correspondiente a la cantidad de muestras para 11650 m</i> | 78 |
| Tabla 34. <i>Análisis porcentual de muestras obtenidas a 2400 m</i> | 92 |
| Tabla 35. <i>Resultados correspondiente a la cantidad de muestras para 9950 m</i> | 92 |
| Tabla 36. <i>Resumen total del tamaño muestral</i> | 94 |
| Tabla 37. <i>Comparación de medida de potencia de recepción y tamaño muestral</i> | 95 |
| Tabla 38. <i>Comparación distancia y potencia de recepción</i> | 96 |
| Tabla 39. <i>Resumen error porcentual</i> | 97 |
| Tabla 40. <i>Desempeño del modelo de propagación Longley Rice</i> | 98 |
| Tabla 41. <i>Margen de error en el tamaño muestral</i> | 99 |

Tabla 42. *Indicadores del Nivel de Cobertura*..... 100

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama de Radiación | 11 |
| Figura 2. Elementos de un Diagrama de Radiación | 12 |
| Figura 3. Diagrama Propagación Ionosférica | 14 |
| Figura 4. Fenómeno “Filo de Cuchillo” | 16 |
| Figura 5. Modelo Refractivo de dos rayos. | 17 |
| Figura 6. Teorema Central del Límite | 25 |
| Figura 7. Representación del Intervalo de confianza del 95%. | 27 |
| Figura 8. Provincia de Orellana..... | 31 |
| Figura 9. Descarga de mapas para coordenadas establecidas..... | 32 |
| Figura 10. Inicialización de Parámetros | 34 |
| Figura 11. Propiedades de Mapa | 34 |
| Figura 12. Opción Propiedades de Red para la selección Parámetros..... | 35 |
| Figura 13. Propiedades de Red selección Sistemas..... | 35 |
| Figura 14. Analizador de Espectros..... | 37 |
| Figura 15. Radio Táctica Militar | 38 |
| Figura 16. Antena de Dipolo | 38 |
| Figura 17. Patrón de Radiación | 39 |
| Figura 18. Antena Super M Base..... | 40 |
| Figura 19. Patrón de Radiación antena Omnidireccional | 40 |
| Figura 20. Instalación parte inferior antena Super M Base | 41 |
| Figura 21. Instalación de la parte superior de la antena Super M Base..... | 42 |
| Figura 22. Orden de colores para de elementos superiores de la antena | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 23. Instalación de la antena de dipolo HF | 44 |
| Figura 24. Ubicación punto de transmisión..... | 49 |
| Figura 25. Configuración parámetros de red | 49 |
| Figura 26. Configuración de sistema para transmisión en High 20 W | 50 |
| Figura 27. Configuración de sistema para transmisión en Medium 5 W | 50 |
| Figura 28. Configuración de sistema para transmisión en Low 1 W | 51 |
| Figura 29. Configuración de sistema para Recepción | 51 |
| Figura 30. Topología Red Maestro Esclavo | 52 |
| Figura 31. Nivel de Cobertura de radioenlace | 53 |
| Figura 35. Simulación de radioenlace a potencia de recepción en nivel medio a distancia 2,06 Km..... | 56 |
| Figura 36. Simulación de radioenlace potencia de recepción nivel bajo distancia 2,06 Km ... | 57 |
| Figura 37. Simulación radioenlace potencia de recepción nivel alto a distancia 1,81 Km ... | 59 |
| Figura 38. Simulación radioenlace de potencia de recepción en nivel medio a distancia 1,81 Km..... | 59 |
| Figura 39. Simulación de radioenlace de potencia de recepción a nivel bajo a distancia 1,81 Km | 60 |
| Figura 40. Simulación de potencia de recepción a nivel medio 25 MHz | 62 |
| Figura 41. Simulación de potencia de recepción transmitida en nivel medio a 25 MHz | 63 |
| Figura 42. Simulación de potencia de recepción transmitida en nivel medio a 25 MHz | 65 |
| Figura 43. Simulación de potencia de recepción transmitida en nivel medio a 25 MHz | 65 |
| Figura 44. Simulación de potencia de recepción en nivel alto a 30 MHz | 67 |
| Figura 45. Análisis de potencia de recepción con probabilidad de éxito y fracaso | 68 |
| Figura 46. Mediciones de Potencias de Recepción a 20 MHz 1,8 Km | 71 |
| Figura 47. Análisis de potencia de recepción a 2060 m | 72 |

| | |
|--|----|
| Figura 48. Representación del número de muestras requeridas para 20 MHz | 73 |
| Figura 49. Mediciones de campo a 1810 m..... | 74 |
| Figura 50. Análisis de Mediciones de campo a 2610 m..... | 76 |
| Figura 51. Análisis de mediciones de potencia de recepción | 77 |
| Figura 52. Análisis de mediciones de potencia de recepción | 79 |
| Figura 53. Número de muestras requeridas para 25 MHz | 79 |
| Figura 54. Potencia de recepción para mediciones de campo | 81 |
| Figura 55. Número de muestras requeridas para 30 MHz | 81 |

RESUMEN

En el presente proyecto se determinó el tamaño muestral requerido para expresar o definir el número de mediciones que se realizarán en campo, para establecer que un modelo de propagación es adecuado para una zona o región geográfica específica. Para esto, es necesario tomar como referencia un modelo de propagación existente en la literatura, en este caso es el modelo *Longley-Rice*. Basados en el análisis estadístico comparativo entre los datos obtenidos a través de las pruebas de cobertura en la banda de frecuencia HF y los datos simulados, se determinó el número de muestras que se deberán tomar en campo para afirmar que un modelo de propagación se ajusta a una realidad geográfica específica. Cabe señalar, que el presente trabajo no considera determinar un nuevo modelo de propagación, sino, únicamente determinar el tamaño adecuado de la muestra para ajustar un modelo, insumo que será fundamental en la investigación que propende determinar un modelo de propagación que se ajuste a la orografía y geografía ecuatoriana. Mediante un simulador radioeléctrico se determinó las condiciones bajo las cuales se propaga una onda electromagnética en diferentes entornos, se estableció una campana de medición de intensidad de radiación dentro del perímetro de zonas militares ubicadas en la frontera nororiente del Ecuador, cuyos datos fueron utilizados en un balance de potencias para calcular las pérdidas de cada sector. Se utilizó métodos estadísticos inferenciales como medios para el análisis de la clasificación de escenarios en diferentes tipos de *clutter* o uso de la tierra en el sector nororiente del Ecuador, cuyas características de atenuación varían en cada enlace de radio. De esta manera, los resultados y el procedimiento aplicado en la investigación, permitirá definir el tamaño de la muestra necesaria para establecer el rendimiento del modelo de propagación *Longley-Rice* en la orografía nororiental del Ecuador.

Palabras clave:

- **PROPAGACIÓN**
- **LONGLEY RICE**
- **RADIOELÉCTRICO**

ABSTRACT

In the present project, the sample size required to express or define the number of measurements that will be made in the field was determined to establish that a propagation model is suitable for a specific geographic area or region. For this, it is necessary to take as a reference a propagation model existing in the literature, in this case it is the Longley-Rice model. Based on the statistical comparative analysis between the data obtained through the coverage tests in the frequency band HF and the simulated data, the number of samples that should be taken in the field was determined to affirm that a propagation model is adjusted to a specific geographic reality. It should be noted that the present work does not consider determining a new propagation model, but only to determine the appropriate sample size to adjust a model, an input that will be fundamental in the investigation that tends to determine a propagation model that conforms to the orography and Ecuadorian geography. Through a radioelectric simulator, the conditions under which an electromagnetic wave propagates in different environments were determined. A radiation intensity measurement bell was established within the perimeter of military zones located in the northeastern border of Ecuador, whose data was used in a power balance to calculate the losses of each sector. Inferential statistical methods were used as means for the analysis of the classification of scenarios in different types of clutter or land use in the northeastern sector of Ecuador, whose attenuation characteristics vary in each radio link. In this way, the results and the procedure applied in the investigation, will allow to define the size of the sample necessary to establish the performance of the Longley-Rice propagation model in the northeastern orography of Ecuador.

Key words:

- **PROPAGACIÓN**
- **LONGLEY RICE**
- **RADIOELÉCTRICO**

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. Introducción

En la última década el mundo ha presenciado una vertiginosa evolución tecnológica a todo nivel, también se aplica a la evolución de la tecnología utilizada en los sistemas de comunicación. En la actualidad varios países convergen hacia la necesidad de implementar nuevas tecnologías, herramientas o procedimientos para ser más eficientes en la administración del espectro radioeléctrico y de los medios de telecomunicaciones. A través del tiempo se han generado diversas alternativas para alcanzar un notable crecimiento en la cobertura de los medios, debido a que el crecimiento exponencial de la población obliga a una expansión geográfica que deriva en una gran demanda de sistemas de comunicación más dinámicos y eficientes. Además de la existencia de redes inalámbricas tradicionales como, televisión digital, sistemas de telefonía móvil, radio enlaces punto a punto, etc.; el mundo exige que dichas redes se incrementen, sin embargo el incremento requiere incorporar mejores capacidades, de tal forma que se pueda ofertar un servicio eficiente de radio comunicación, capaz de transmitir un alto volumen de datos, video, sumado a comunicaciones de voz simultáneas y en tiempo real, lo que obliga a mejorar la forma de propagación, y los sistemas existentes.

La propagación de una onda se puede interpretar haciendo uso de herramientas que permiten la valoración del entorno a partir de modelos de propagación que caracterizan el comportamiento de la señal, basados en un modelo matemático, cuya utilidad yace en la predicción de potencia de la señal que se transmite y se recibe; por tanto resultan de gran importancia en el diseño de redes y sistemas (Celly, 1999) para establecer modelos predictivos de pérdidas de trayecto y destacar su aplicabilidad y versatilidad.

El Ecuador al ser un país biodiverso, presenta variaciones en el terreno, y ofrece diferentes características geográficas y climatológicas para diferentes zonas, como por ejemplo selva, serranía o litoral (Nateel, 2013). Por este motivo, no se ha determinado un modelo específico de

propagación ajustada a este tipo de características, es decir, un modelo de propagación que se ajuste a la orografía del Ecuador en sus diferentes regiones, provocando que muchos de los deficientes resultados de propagación, no tengan una explicación teórica científica verificada. Entonces, es importante iniciar un estudio de esa envergadura, sin embargo, previo a esto y con el afán de ser eficientes en las pruebas requeridas para determinar un modelo ajustado a la realidad ecuatoriana, es fundamental realizar un análisis estadístico de la cantidad de pruebas de campo que son necesarias realizar en una región, para de esta forma realizar mediciones de campo que sean suficientes y necesarias poder determinar con cierto nivel de confianza un nuevo modelo de propagación, tal que a futuro se permita optimizar los recursos que se inviertan en la implementación de redes de telecomunicaciones tanto civiles como militares, además de obtener resultados óptimos y más precisos de las zonas de cobertura que ofrecen las tecnologías y equipos que dispone el Ejército Ecuatoriano, facilitando así una base de datos de frecuencias óptimas de trabajo de acuerdo a las diferentes regiones.

1.2. Antecedentes

En el año de 1901 el físico Guillermo Marconi inventó la primera radio y permitió comunicar Europa y América, alcanzando una transmisión telegráfica que cubre distancias de más de 3000 kilómetros. Marconi inventó un sintonizador para el transmisor y receptor trabajen a igual frecuencia.

Los primeros sistemas de telecomunicaciones fueron implantados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI en 1978, agregando teletipos para cambio de datos meteorológicos. En 1980, el Ecuador estableció el primer radioenlace de voz dentro de la banda HF entre la estación de San Cristóbal y el INAMHI en Quito; así mismo, las Fuerzas Armadas del Ecuador desde años anteriores a 1980, disponían de sistemas de comunicaciones inalámbricos, con equipos ROCKET COLLINS, PHILIPS y RACAL, con los cuales se materializaron enlaces inalámbricos.

La UIT-R (Sector de Radiocomunicación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones) desde el año 1978 hasta el presente año definió a la radio comunicación como toda

telecomunicación producida por medio de ondas electromagnéticas entre 10KHz y 3000 GHz propagándose por el espacio sin ninguna guía artificial.

Con el tiempo surge la idea de predicción y modelado del canal de radiocomunicación, estableciendo los modelos de propagación empíricos y semi determinísticos que permiten la optimización y planeación de redes inalámbricas para predecir la potencia en diferentes distancias de alejamiento.

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar el tamaño muestral basado en el rendimiento del modelo de propagación *Longley-Rice* en la banda de frecuencia HF aplicable para las provincias de la frontera nororiente del Ecuador.

1.3.2. Objetivos Específicos

Realizar un análisis detallado de las variables y parámetros utilizados en el modelo de propagación *Longley-Rice* para el cálculo de pérdidas de trayectoria en ambientes rurales.

Verificar y analizar los equipos de radio comunicaciones que serán instalados para establecer los radioenlaces entre los emplazamientos militares del sector nororiente del Ecuador.

Realizar pruebas de simulación mediante el uso de un software radioeléctrico que permita predecir niveles de cobertura e intensidad de campo eléctrico recibido en las diferentes radios bases militares del sector nororiente del Ecuador.

Realizar la cantidad de mediciones en campo en la banda de frecuencia HF sobre los radioenlaces establecidos en la simulación utilizando un adecuado protocolo de mediciones, y realizar una comparación con las mediciones obtenidos en la simulación.

Diseñar una estrategia de muestreo en base a las mediciones y pérdidas de radiación obtenida en las zonas del sector nororiente del Ecuador.

Realizar un ajuste estadístico que determine la cantidad de mediciones que se debe realizar en cada zona del sector nororiente del Ecuador basado en el modelo de propagación *Longley-Rice*.

1.4. Justificación e importancia

A través del tiempo se ha generado un progreso en la capacidad de cobertura debido a la gran demanda de los sistemas de comunicación. A los sistemas básicos de telefonía móvil, redes inalámbricas de datos, televisión digital o radioenlaces ofrecen asistencia eficaz capaz de facilitar la comunicación de datos, voz y video a grandes regiones.

El Ecuador al ser un país biodiverso, exhibe una configuración de diferentes escenarios geográficos y urbanos, situación que es una variable compleja a la hora de definir el mejor sistema y tecnología de comunicaciones a utilizarse. Presenta variaciones en el terreno, que ofrece diferentes características climatológicas para diferentes zonas, como por ejemplo selva, montañas o nivel del mar; de tal manera que las ondas radioeléctricas presentan una gran atenuación al atravesar la vegetación, lo que hace que los sistemas de comunicación se vean afectados, y en sobremanera esta afectación tiene mayor incidencia en las regiones fronterizas del país, obstaculizando la planificación del radioenlace y el funcionamiento de las señales electromagnéticas, complicando mantener eficientes sistemas de control en determinadas regiones, afectación que es una problemática tanto para la sociedad civil como para las FF.AA, que ejecutan operaciones militares permanentes en dichos sectores. En ese contexto, se requiere determinar un modelo específico de propagación ajustado a este tipo de características, por lo tanto, la región oriental ha sido seleccionada como un escenario de referencia para poner a prueba el modelo de propagación *Longley Rice*, ya que permite establecer un análisis específico para sectores rurales y en un escenario extremadamente complejo, dónde no se han desarrollado estudios anteriores para dichos fines.

Sin embargo, es fundamental iniciar un análisis estadístico que permita determinar una cantidad aproximada y coherente de pruebas de campo a ser recolectadas en la región seleccionada; de esta manera, no sólo se optimiza tiempo sino también recursos logísticos, requeridos en la implementación de redes de telecomunicaciones civiles y militares. Además, un análisis estadístico

sobre los resultados de mediciones permitirá mejorar el desempeño de planificación y control de cada escenario, cuyo proceso de muestreo construye la base para la implementación de modelos más avanzados adecuados a la orografía de Ecuador.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Propagación

“La propagación se define como la transmisión de energía por el espacio, que viaja desde un emisor hacia un receptor, siendo capaz de capturar ondas electromagnéticas. Las ondas electromagnéticas son ondas de fuerza eléctrica y magnética con movimiento ondulatorio” (Salazar, 2005).

La propagación de ondas electromagnéticas o de ondas de radio usualmente se la considera en el vacío y se lo conoce como propagación en el espacio libre sin considerar las pérdidas causadas por la propagación a través de la atmósfera; a pesar que éstas atenuaciones han sido consideradas despreciables, es menester continuar las investigaciones pertinentes para determinar con un adecuado nivel de confianza, conclusiones acerca del efecto dañino que causa la tierra sobre la propagación de ondas de radio.

“Las radiocomunicaciones se basan en la propagación de ondas electromagnéticas, las cuales ocurren sobre diversas bandas de frecuencia, unas de forma terrestre, otras de forma directa y otras por reflexión en la ionósfera”, (Salazar, 2005), cualquiera que sea la forma de propagación, todas se ven afectadas en su trayectoria, por varios factores. En la propagación de señales de radio se aumentan pérdidas en elementos basados en las características del medio, como presencia de obstáculos, presencia de lluvia, *clutter*¹, etc. Adicionalmente influyen factores como refracción, reflexión y difracción.

¹ Reflexiones en elementos ajenos al sistema (montañas, superficie del mar, etc.), que evitan que la SNR sea la óptima.

2.1.1. Fenómenos de Propagación

Las ondas de radio permiten establecer una comunicación a grandes distancias, a través de fenómenos de propagación como son reflexión, refracción, dispersión y difracción. Estas ondas viajan a velocidades cercanas a la luz.

Las comunicaciones seguras a grandes distancias mediante puntos situados sobre la superficie terrestre utilizan las frecuencias HF por motivo del fenómeno de reflexión en la ionósfera.

2.1.1.1 Atenuación

La propagación de las ondas en el espacio libre hace que estas se dispersen y que disminuya la densidad de potencia, generando una pérdida de energía. La atenuación es directamente proporcional con el tiempo y la frecuencia.

“Las ondas radioeléctricas sufren gran atenuación al atravesar la vegetación. La asamblea de las radiocomunicaciones de la UIT-R P.833-2 considera que; para un trayecto terrenal radioeléctrico cuyos terminales se encuentran situados en un lugar boscoso con vegetación extensa, existe una pérdida adicional debida a la vegetación que puede describirse en base al índice de atenuación (dB/m) con una dispersión de energía fuera del trayecto, la propagación de ondas de superficie por encima del medio vegetal y la dispersión dentro del mismo en frecuencias comprendidas de 30 MHz a 60 GHz” (Alcivar, Veloz , Silva, y Zambrano, 2017).

Existen modelos que permiten estimar la atenuación por vegetación como el modelo RET (*Radiative Energy Transfer*) y TS (*Trunk Spacing*). Precisamente el modelo RET considera como parámetro la densidad con la que se distribuyen los árboles y acogido por la recomendación UIT-R 833-2 estima que la atenuación por vegetación se calcula por medio de la siguiente formula:

$$L_{veg} = 15,6f^{-0,009}d^{0,26}, \quad (1)$$

dónde:

$d \rightarrow$ distancia en metros desde el transmisor hasta el receptor,
 $f \rightarrow$ frecuencia [GHz].

2.1.1.2. Absorción

El aire al estar compuesto por átomos y moléculas en diferentes estados ya sea líquido, gaseoso o sólido, tiene la capacidad de absorber ondas electromagnéticas y transferir energía a diferentes elementos como átomos y moléculas atmosféricas (Tomasi, 2003).

Para que una onda sea absorbida dentro de la atmósfera depende del medio en el cual se propaga y la frecuencia a la que trabaja. Si las ondas se propagan a través de un medio homogéneo considerando propiedades uniformes en el medio, las pérdidas por absorción serán las mismas a 1 Km o 10 Km. Pero, si la vegetación es densa y se cuenta con lluvia o neblina, las ondas electromagnéticas tienden a ser mayormente absorbidas que en una atmósfera normal.

2.1.1.3. Refracción

La refracción es el fenómeno que experimenta una onda electromagnética al incidir oblicuamente sobre la superficie de separación de un medio de propagación a otro, siendo la velocidad de la onda inversamente proporcional a la densidad del medio (Bravo y Pesa, 2001).

Las ondas de radio cruzan las diferentes capas de la atmósfera, desde la tropósfera hasta la ionósfera. Las ondas de radio que se propagan con mayor velocidad viajan en la capa superior es decir la ionósfera, mientras que las ondas que viajan con una baja velocidad viajan lentamente en la tropósfera. En la ionósfera, las ondas de radio son muy importantes ya que se produce una serie continua de refracciones permitiendo que las ondas viajen a puntos del planeta geográficamente más distantes.

2.1.1.4. Reflexión

Este fenómeno se origina cuando una onda electromagnética incide en un objeto y dependiendo de su ángulo una parte se transmite y la otra se refleja.

Este fenómeno genera una curvatura en la onda de radio, que depende del índice de refracción, que se obtiene al dividir la velocidad de onda de luz en el vacío y la velocidad de onda de luz en el medio.

2.1.1.5. Difracción

La difracción consiste en la propiedad de una onda para rodear un obstáculo que se propaga a través de una pequeña apertura, que interfiere entre el transmisor y receptor, cuyo frente de obstáculo se convierte en una nueva forma de emisión. Si el tamaño del obstáculo es similar a la longitud de onda, los efectos de difracción son grandes y permiten que los rayos se propagan en línea recta.

2.2. Banda de Frecuencias

El espacio radioeléctrico consignado para diferentes usos de radiocomunicaciones como audio y video se define por los límites específicos de frecuencia conocidos como bandas. Estas bandas (detalladas en la Tabla 1) son utilizadas por la radiodifusión internacional, los países y las organizaciones.

Tabla 1.
Bandas de frecuencia

| Banda | Denominación | Frecuencia Mínima | Frecuencia Máxima | Longitud De Onda Mínima | Longitud De Onda Máxima |
|-------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| ELF | <i>Extremely Low Frequency</i> | 3 Hz | 300 Hz | | 100Km |
| VLF | <i>Very Low Frequency</i> | 3 KHz | 30KHz | 100Km | 10Km |
| LF | <i>Low Frequency</i> | 30KHz | 300KHz | 10Km | 1Km |
| MF | <i>Medium Frequency</i> | 300Khz | 3MHz | 1Km | 100m |
| HF | <i>High Frequency</i> | 3MHz | 30MHz | 100m | 10m |
| VHF | <i>Very High Frequency</i> | 30MHz | 300MHz | 10m | 1m |
| UHF | <i>Ultra High Frequency</i> | 300MHz | 3GHz | 1m | 10cm |
| SHF | <i>Super High Frequency</i> | 3GHz | 30GHz | 10cm | 1cm |
| EHF | <i>Extremely High Frequency</i> | 30GHz | 300GHz | 1cm | 1mm |

2.3. Antenas

“Las Antenas y los sistemas de antenas en los equipos transmisores son dispositivos que tienen la función de radiar o recibir eficazmente información de las ondas electromagnéticas” (Celly, 1999). La antena emisora envía ondas electromagnéticas, que son recibidas por la antena receptora a través de un conductor eléctrico, recogiendo ondas electromagnéticas y convirtiéndolas en señales eléctricas.

El espectro electromagnético se clasifica desde frecuencias subsónicas hasta rayos cósmicos. Se divide en bandas estableciendo diferentes límites de frecuencia. Las designaciones de bandas establecidas por el Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR) se muestran en la Tabla 1.

La longitud de onda representa el trayecto que ocupa un ciclo de onda electromagnética en el espacio, es inversamente proporcional a la frecuencia de onda y directamente proporcional a su velocidad de propagación $c=3 \times 10^8$ m/s, su fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (2)$$

dónde:

$\lambda \rightarrow$ longitud de onda (metros por ciclo),
 $c \rightarrow$ velocidad de la luz (3×10^8 m/s),
 $f \rightarrow$ frecuencia (hertz).

2.3.1. Características de las Antenas

2.3.1.1. Ganancia

La ganancia representa la potencia de amplificación de la señal. Es la relación entre la densidad de potencia radiada en una sola dirección con la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica (Cardama, Jofre, Rius, Romeu, y Blanch, 2016).

$$G = 20 \log \frac{P_{out}}{P_{in}}. \quad (3)$$

2.3.1.2. Diagrama de Radiación

Es la representación gráfica de las características de radiación que indican la intensidad en campo emitido en varias direcciones desde la antena, a una distancia constante. La intensidad de campo eléctrico indica la dirección en el que radia una antena.

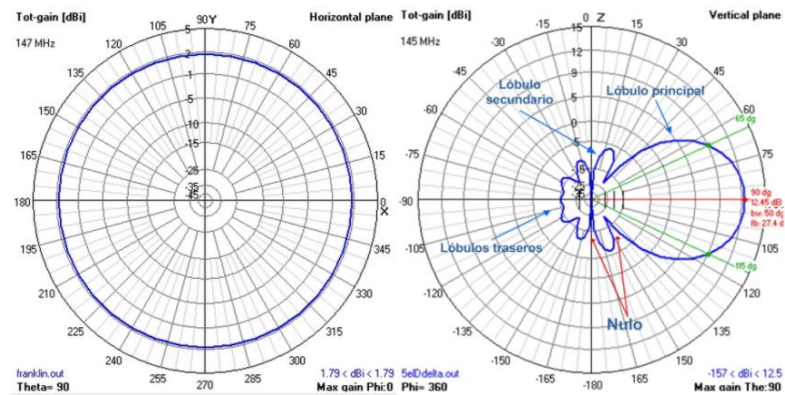


Figura 1 Diagrama de Radiación

Fuente: (Martinez, 2015)

Por otro lado, se encuentra el patrón de radiación donde se representan características de radiación en función del ángulo azimutal y cenital.

Los características más importantes de un diagrama de radiación son los siguientes:

- Dirección de apuntamiento,
- Lóbulo principal,
- Lóbulo secundario,
- Ancho de haz,
- SLL (*Secondary Lobule Level*) Relación lóbulo principal a secundario,
- FBR (*Front Back Relation*) Relación delante atrás.

En la Figura No 2, se presenta una representación gráfica de las características previamente indicadas.

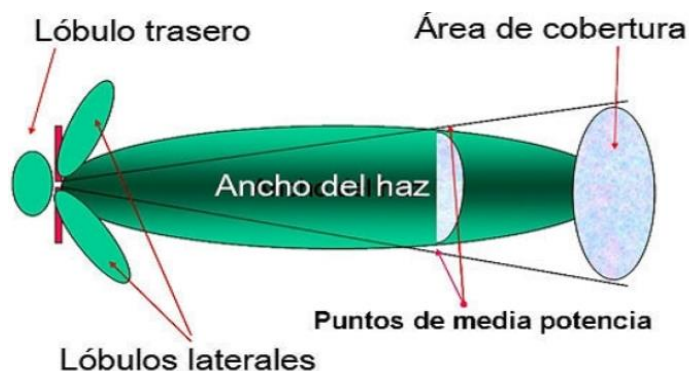


Figura 2. Elementos de un Diagrama de Radiación

2.3.2. Directividad

La directividad se representa como la relación de la intensidad máxima de radiación de una antena específica comparada con la intensidad de radiación de una

antena isotrópica como se indica en la siguiente fórmula (Monachesi y Frenzel, 2012):

$$D = \frac{U(max)}{U(isotrópica)} [dBi]. \quad (4)$$

2.3.3. Polarización

La polarización representa la figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa el campo eléctrico en función del tiempo.

2.4. Radiocomunicación HF

La transmisión en el rango de frecuencia desde 3 a 30 MHz por convención de la ITU es llamada *High Frequency* conocida también como onda corta. La frecuencia radiada por la antena que transmite se refleja por las capas más altas de la atmósfera en estas se encuentra la ionósfera situada la más alta a 250 Km sobre la tierra.

Según Mario Molina, en su publicación, “Modelo de propagación de las redes inalámbricas”, las comunicaciones HF son consideradas el medio de transmisión más económico de bajas tasas de información a larga distancia. “Las comunicaciones HF son utilizadas en circuitos tierra-aire-tierra

como fuente secundaria, de respaldo y primaria en algunas rutas transoceánicas con potencia efectiva isotrópicamente radiada” (Reino y Alberto, 2017).

Dentro de sus desventajas se encuentra la baja relación de información, la reducida disponibilidad de enlace compartido con comunicaciones por satélites, fibra óptica, cable coaxial, par de hilos, tropósfera o microondas por línea vista y *fading* o desvanecimiento de la señal.

“La banda HF establece una cobertura confiable durante la luz del día, mientras que en la noche provee un servicio a larga distancia mundial el cual dependerá de las características ionosféricas, las cuales podrán afectar la propagación de ondas aéreas” (Reino y Alberto, 2017). Sus aplicaciones incluyen, *broadcasting* de onda corta, servicios fijos y móviles, telemetría, radio afición y aeronáutica fija y móvil.

2.4.1. Propagación HF

“Las ondas electromagnéticas representan el fenómeno físico que permite la radiocomunicación, y considera que la tierra está rodeada por dos capas en la atmósfera; la tropósfera y la ionósfera” (Reino y Alberto, 2017).

La tropósfera establece hasta 45 Km desde la superficie de la tierra, incluye nubes, viento y clima general. Mientras que la ionósfera se encuentra por encima de la tropósfera.

En la banda de alta frecuencia HF o conocida como onda corta considera la propagación por onda ionosférica, tomando en cuenta hora del día y estaciones del año, utilizada para cubrir grandes distancias. La ionósfera refleja las ondas de radio, haciendo que estas retornen a la tierra; en este tipo de enlaces las ondas de radio se proyectan hacia la tierra, permitiendo que cada onda se acelere y cambie la dirección llegando en varios o un solo salto a su destino.

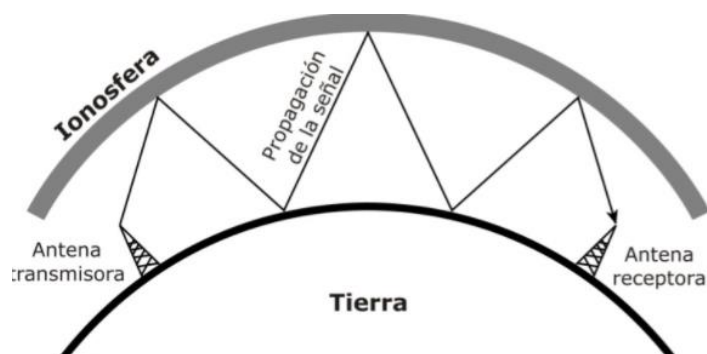


Figura 3. Diagrama Propagación Ionosférica
Fuente: (Toledo, 2011)

La propagación ionosférica permite que la parte de la atmósfera en la que existen iones y electrones libres en grandes cantidades pueda afectar la propagación de radio. Es utilizada a frecuencias menores a 30 MHz y permite comunicaciones a largas distancias.

“La propagación de frecuencias en la parte alta de la banda HF (esto es, de 14 MHz a 30 MHz) es más eficiente en los días de verano, sin embargo, en las frecuencias bajas se usan más durante el invierno” (Reino y Alberto, 2017).

Las bandas de frecuencias medias son utilizadas por aficionados que presentan características de las bajas altas y bajas. La estación del año influye en la propagación de zona gris, permitiendo aprovechar gran cantidad en varios minutos entre zonas que comparten la misma hora solar de amanecer.

La propagación ionosférica refleja las ondas radioeléctricas permitiendo su camino de retorno a la Tierra. La propagación por reflexión ionosférica alcanza enlaces a través de un solo salto a distancias de 4000 Km. Por otro lado, a partir de los 40 o 50 MHz se considera que la ionósfera no refleja las ondas electromagnéticas por lo que se utiliza para otros tipos de comunicaciones.

2.4.2. Índice de refracción troposférica

El índice de refracción varía de acuerdo con la permitividad relativa, la cual depende de factores climáticos como la presión, humedad y curvatura de la tierra. El índice de refracción de

acuerdo con su fórmula depende de la velocidad de una onda electromagnética con la velocidad de una onda en un medio finito (Martinez, 2015).

2.5. Modelos de propagación

Los modelos de propagación se encargan de predecir la atenuación de la potencia de una señal, cuyo análisis contempla una señal recibida a una distancia determinada, así como también cambios en la intensidad de la señal recibida, tomando como base mediciones en un área geográfica específica para un determinado sistema o tecnología. El modelo de propagación que se utilizará para el presente proyecto es el modelo *Longley Rice*, por tanto, se explicarán los modelos más importantes utilizados para el desarrollo del trabajo de investigación.

2.5.1. Modelo espacio libre

La UIT-R define la propagación de espacio libre como la propagación de una onda electromagnética en un medio dieléctrico ideal homogéneo e isótropo que se puede considerar infinito en todas las direcciones (Unión Internacional de las Telecomunicaciones, 2007).

El modelo de espacio libre indica la potencia de la señal asumiendo que el canal de radiofrecuencia se encuentra libre de cualquier obstáculo. La siguiente fórmula indica la relación para la potencia recibida y transmitida entre dos antenas separadas a una distancia d :

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}, \quad (5)$$

dónde:

P_r → Potencia recibida,

P_t → Potencia transmitida,

G_t → Ganancia de la antena transmisora,

G_r → Ganancia de la antena receptora.

La relación de $\frac{P_r}{P_t}$ representa las pérdidas de transmisión también conocidas como pérdidas de espacio libre (PEL).

Utilizando unidades prácticas se puede definir las pérdidas básicas de propagación en condiciones de espacio libre mediante la siguiente fórmula:

$$L_{bf}(dB) = 32,45 + 20 \log f(\text{Mhz}) + 20 \log d(\text{Km}) \quad (6)$$

2.5.2. Modelo de Propagación Longley Rice

“El modelo de *Longley-Rice* también llamado ITM (*Irregular Terrain Model*), Modelo de Terreno Irregular fue creado en 1968, utilizado para el estudio de propagaciones de señales de TV y modela obstáculos lejanos y cercanos” (Isaías, 2015).

El modelo *Longley-Rice* puede determinar las pérdidas en los enlaces de transmisión a largas distancias mediante el fenómeno de difracción por obstáculos utilizando el modelo de “Filo de Cuchillo” de *Fresnel-Kirchoff* como se muestra en la Figura No 4, para la predicción de potencia de la señal dentro del horizonte LOS utiliza el modelo de reflexión de 2 rayos.

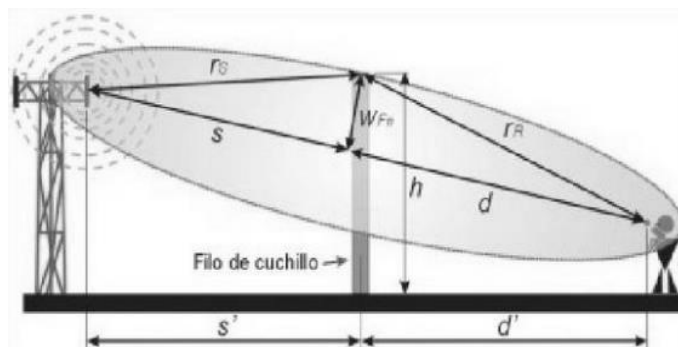


Figura 4 Fenómeno “Filo de Cuchillo”

“El modelo de propagación *Longley-Rice* realiza una estimación promedio de propagación basándose en la información sobre la geometría del terreno y en las características refractivas de la tropósfera” (Salazar, 2005). El valor de la atenuación es siempre una función continua de la distancia recorrida.

Este modelo alcanza una distancia de 1 a 2000 Km y es aplicado a varios sistemas de comunicación, uno de ellos es comunicación punto a punto. Puede determinar los parámetros

específicos de la trayectoria en el rango de frecuencia de HF hasta EHF con rangos desde 20 MHz a 20 GHz. Se utiliza para realizar predicciones de área, predice la atenuación media de una señal de radio en función de la distancia y la variabilidad de la señal (Rice, 2000).

El método de *Longley Rice* instaura una pérdida de propagación por medio de la geometría del terreno en el receptor. Utiliza principalmente el modelo de reflexión terrestre de 2 rayos como se indica en la figura No 5.

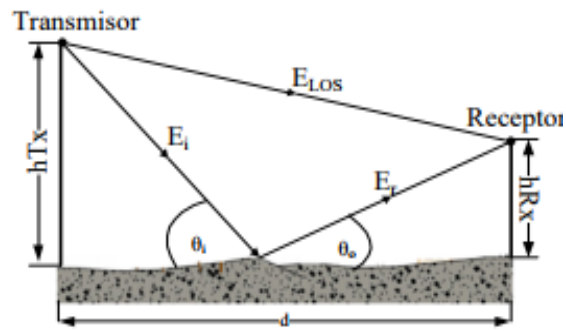


Figura 5 Modelo Refractivo de dos rayos.
Fuente: (Llerena y Araujo, 2016)

2.5.2.1. Límites

El rango de operación de este sistema es el siguiente:

$$20 \text{ Mhz} \leq \text{frecuencia} \leq 20 \text{ GHz.}$$

$$1 \text{ Km} \leq \text{distancia} \leq 2000 \text{ Km.}$$

$$0,5 \text{ m} \leq \text{Altura antena Tx} [h_t] \leq 3000 \text{ m.}$$

$$0,5 \text{ m} \leq \text{Altura antena Rx} [h_r] \leq 3000 \text{ m.}$$

2.5.2.2. Parámetros Ambientales

Los parámetros ambientales son los siguientes:

- *Polarización*

El modelo de *Longley-Rice* especifica que la polarización de las antenas ya sea horizontal o vertical debe ser la misma en los dos puntos.

- *Refractividad*

La refractividad determina la cantidad de “flexión” de las ondas de radio, es decir cuando una onda incidente choca con una frontera entre dos medios y las ondas no penetran en el segundo medio, el modelo de propagación determina la cantidad de curvatura que tendrán las ondas de radio que utiliza, por defecto el valor de 1.333 en el caso de condiciones atmosféricas normales.

- *Irregularidad de terreno Δh*

Inicialmente el modelo de propagación utiliza la interpolación lineal para un rango de interés y posteriormente determina el intervalo Δh que caracteriza el tamaño del terreno.

En la siguiente tabla se presenta un rango de valores y descripciones cualitativas del terreno.

Tabla 2.
Tipos de terreno

| Tipo de Terreno | Δh |
|-------------------------------|------------|
| Agua o terreno muy planos | 0-10 |
| Terrenos planos | 10-20 |
| Terreno ligeramente irregular | 40-60 |
| Terreno montañoso | 80-150 |
| Terreno altamente montañoso | 200-500 |

Fuente: (Rice, 2000)

- *Índice de refracción N_s*

Partimos del valor de la refractividad de la superficie en el rango de 250 a 400 unidades N (valor de la curvatura de la tierra). El valor de la refractividad superficial es de 301 unidades N , el

cual es utilizado para el modelo de propagación de *Longley-Rice*. Por tanto, la refractividad de la superficie se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$N_s = 179,3 \ln \left[\frac{1}{0.046665} \left(1 - \frac{1}{k} \right) \right], \quad (7)$$

dónde:

$k \rightarrow$ valor efectivo de la curvatura como 1.333 para la Tierra.

- *Clima*

Los códigos climáticos y los índices de refracción que se utiliza en el modelo de propagación *Longley-Rice*, son los siguientes:

Tabla 3.

Tipos de Clima

| N | Clima | Ns (N-Unidades) |
|---|---|-----------------|
| 1 | Ecuatorial (Congo) | 360 |
| 2 | Continental Subtropical (Sudán) | 320 |
| 3 | Subtropical Marítimo (Costa Oeste de África) | 370 |
| 4 | Desierto (Sáhara) | 280 |
| 5 | Templado continental | 301 |
| 6 | Marítimo templado, sobre tierra (Reino Unido y costas occidentales continentales) | 320 |
| 7 | Marino Templado, sobre el mar | 350 |

Fuente: (Rice, 2000)

- *Atenuación*

Las distancias generadas y las elevaciones del horizonte permiten calcular la pérdida por transmisión con relación a espacio libre. El modelo divide la pérdida de transmisión total en "pérdida de transmisión básica en espacio libre" y la atenuación de referencia en relación con el espacio libre.

Para rangos a corta distancia el modelo de propagación no es particularmente sensible a cambios en el valor de la refractividad N_s , en el cual tienen un efecto definido sobre las pérdidas de transmisión.

- *Permitividad ϵ*

También llamada constante dieléctrica, describe el campo eléctrico (E) que incide y es afectado por el medio. En la Tabla No 5 se indican los valores que corresponden a los valores típicos de la permitividad.

- *Conductividad*

La conductividad es una propiedad física que permite medir la capacidad de conducción de energía de los materiales, es medida en *siemens* por metro con valores típicos indicados en la Tabla No 5. La conductividad y la permitividad establecen el comportamiento eléctrico de los materiales que determinan la densidad de corriente inducida y la densidad de carga, siempre y cuando se aplique un campo eléctrico E .

Tabla 4.*Permitividad y conductividad*

| Tipo de Tierra | Permitividad ϵ | Conductividad |
|-----------------------|---|----------------------|
| Tierra Media | 15 | 0,005 |
| Tierra Pobre | 4 | 0,001 |
| Tierra Rica | 25 | 0,02 |
| Agua fresca | 81 | 0,01 |
| Agua Mar | 81 | 5 |

Fuente: (Rice, 2000)

- *Variabilidad*

El modelo de variabilidad presenta a través de una demostración matemática una variable aleatoria, que establece parámetros ambientales, y elige un evento por medio de una medida de probabilidad en función del tiempo y ubicación.

Los parámetros de variabilidad utilizados en el modelo de propagación *Longley Rice* corresponden al tiempo, localización y situación. “La variabilidad por tiempo se encuentra en los cambios debido a fenómenos atmosféricos”. (Reino y Alberto, 2017). La variabilidad por localización interviene en los perfiles de terreno y finalmente por situación se considera datos fuera de lo estipulado, cuyos efectos no interesan para este análisis. Cada variabilidad es expresada en porcentajes de 0,1% al 99,9%.

2.6. Simulador Radio Mobile

Radio Mobile es un programa de simulación de radio propagación desarrollado por Roger Coudé en 1998, permite predecir comportamiento de sistemas de radio (Pellejero, 2009). Utiliza datos digitales de elevación de terreno para generar perfil de trayecto entre un emisor y receptor.

El software Radio Mobile utiliza el modelo de propagación *Longley Rice* también llamado ITM (*Irregular Terrain Model*), este software radioeléctrico permite simular el área de cobertura en un sistema de comunicación (Tomasi, 2003), y descarga mapas de elevación como *Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30)*, *Digital Terrain Elevation Data (DTED)* y *SRTM* ; modelos

elaborados por la NASA para su libre uso. Se puede destacar aplicaciones como predicción de rendimiento de sistemas de radio, evaluación de emplazamientos, interfaz GPS entre otros. Además, cuenta con herramientas didácticas para análisis de cobertura de los enlaces simulados.

2.7. Método Propuesto por la ITU

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional; ha validado y difundido una serie de normas técnicas internacionales desarrolladas por el Sector de Radiocomunicaciones (UIT-R), que son de utilidad para entender el comportamiento de la propagación de señales de radio y de otros fenómenos relacionados.

El método de la UIT establecido para la predicción de cobertura, es un método que predice el valor del E aplicable para radiodifusión, enlaces móviles y comunicaciones fijas.

A continuación, se detallan las recomendaciones emitidas por UIT-R que fueron utilizadas en el desarrollo de este proyecto:

“BO.794 (03/92) Técnicas para reducir al mínimo el efecto de la influencia de la lluvia sobre el enlace de conexión respecto a las características generales de los sistemas del servicio de radiodifusión por satélite. Recomienda que, cuando se introduzcan servicios de radiodifusión sonora digital con transmisores terrenales para recepción en vehículos, portátil y fija en las bandas de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas, el sistema digital utilizado ofrezca sonido monofónico o estereofónico de alta calidad, solución de compromiso entre la amplitud de la cobertura y la calidad de servicio para una determinada potencia de emisión”.

La recomendación UIT-R P.526-11 establece “Que se utilicen los métodos para el cálculo de las intensidades de campo en trayectos de propagación por difracción, que pueden corresponder a la superficie de una Tierra esférica o a terrenos irregulares con diferentes tipos de obstáculos, considera que tomando en cuenta las pérdidas por difracción de filo de cuchillo como se indica en la Figura No 4, se utilizan parámetros geométricos agrupados en un valor adimensional designado por la letra ν que según la norma es la siguiente ecuación”:

$$v = h \sqrt{\left(\frac{2}{\lambda}\right) * \left(\frac{1}{d1} + \frac{1}{d2}\right)}, \quad (7)$$

dónde:

h → altura de la cima del obstaculo sobre la recta que une los dos extremos del trayecto,
d1 y *d2* → distancia desde los dos extremos del trayecto a la cima del obstaculo.

La recomendación UIT-R P.833-2 establece que “Se evalúe la atenuación debida a la vegetación en frecuencias comprendidas entre 30 MHz y 60 GHz. El modelo permite determinar la pérdida en exceso que experimenta la señal al pasar a través de la vegetación. En la práctica, una vez que la señal atraviesa la vegetación recibe contribuciones debidas a la propagación tanto de la vegetación como de la difracción que se produce a su alrededor. El valor de la atenuación máxima, limitada por la dispersión de la onda de superficie, depende del tipo y la densidad de la vegetación, así como del diagrama de radiación de la antena del terminal que se encuentra dentro de la vegetación y de la distancia en vertical entre la antena y el punto más alto de la vegetación”.

CAPÍTULO 3

3. ESTADÍSTICA INFERENCIAL

3.1. Introducción

La estadística permite realizar un análisis de datos que faciliten la toma de decisiones, para esto se fundamenta en aspectos como la incertidumbre y variación, permite apoyar al análisis de la información, y hacer inferencia basándose en los datos contenidos en una muestra. “El proceso de obtener un resultado observado de un fenómeno físico se llama experimento” (Cervantes, 1998); cuyo estudio muestral permite obtener conclusiones sobre la población total, con el fin de saber si se puede llevar a cabo un proceso de generalización puesto que realizar el estudio de la población podría resultar físicamente imposible de realizarlo. A este proceso de conocer las propiedades de una población en función de los datos de una muestra se lo conoce como estadística inferencial.

3.2. Tipos de Estimación

3.2.1. Estimación Puntual

La estimación puntual es “la caracterización de un parámetro dentro de la población utilizando un solo valor de la muestra” (Hernández, 2009).

Suponiendo que se toma una muestra de tamaño n cuyo valor de acuerdo con la muestra asociada sea α . Por tanto, α como tal es una variable aleatoria que depende de la muestra que se ha seleccionado. A esta distribución se le conoce como distribución del estadístico de α .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (8)$$

3.2.2. Estimación por Intervalo

La estimación por intervalo permite que los límites de la muestra dependan de un valor estadístico y también de una distribución muestral, de tal manera que el intervalo de estimación indica por su longitud la precisión del estimador puntual.

“El intervalo que se calcula de los límites de la muestra se denomina intervalo de confianza, y representa el conjunto de valores que se forma a partir de una muestra de datos de forma que exista la posibilidad de que el parámetro poblacional ocurra dentro de dicho conjunto, con una probabilidad específica cuyo nombre se denota como nivel de confianza” (Douglas, Marchal, y Wathen, 2012).

Para calcular el intervalo de confianza se emplean dos estadísticos basados en los datos de la muestra que son; la media aritmética \bar{X} y la desviación estándar σ de la población. La desviación estándar es un estadístico que mide la dispersión de una muestra o de la población, esta permite obtener el rango del intervalo de confianza.

$$u = \bar{x} \pm z\sigma \quad (9)$$

3.2.3. Teorema Central del Límite

El teorema central del límite permite utilizar la distribución de probabilidad para crear intervalos de confianza de una media poblacional o el valor medio de un fenómeno aleatorio (esperanza). En otras palabras, si de un parámetro se seleccionan muestras de cualquier población, la distribución muestral de la media se aproxima a una distribución normal (distribución Gaussiana) como se indica en la siguiente figura:

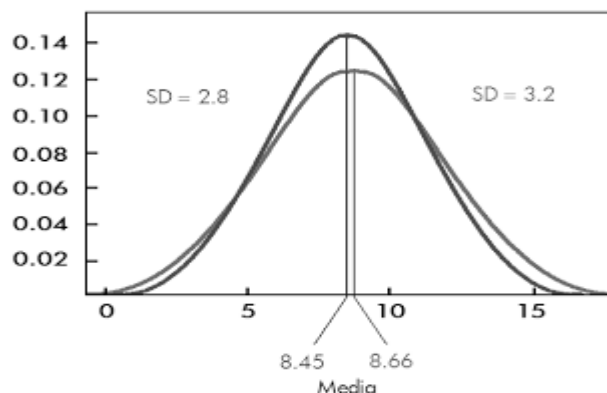


Figura 6 Teorema Central del Límite

Para convertir cualquier distribución normal en una distribución normal estándar, se utiliza el valor de z , “Empleando una tabla de distribución normal B1, que permite determinar la probabilidad de seleccionar una observación que caerá dentro de un intervalo específico” (Douglas, Marchal, y Wathen, 2012). Para determinar el valor de z se utiliza la siguiente fórmula:

$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}, \quad (10)$$

dónde:

$\bar{X} \rightarrow$ *media muestral,*
 $\mu \rightarrow$ *media de la población,*
 $\sigma \rightarrow$ *desviación estandar de la población,*
 $n \rightarrow$ *número de muestras.*

Gracias al teorema del límite central, cuando calculamos una media o una proporción sobre una muestra, podemos saber cuál es la probabilidad de que el universo tenga ese mismo valor o un valor parecido. El valor que calculemos en la muestra será el más probable para nuestro universo y a medida que nos alejamos de este valor cada vez serán valores menos probables. Se considera que para una población cuya distribución de los datos son asimétricos y no normales, se requiere un tamaño aproximado de 50 muestras para comprobar la veracidad de estas.

Con respecto a los intervalos de confianza utilizando el estadístico z , los resultados del teorema central del límite permiten afirmar lo siguiente:

Para un intervalo de confianza del 95% al dividir el valor de 0.95 en la mitad, se calcula el valor de 0.475, localizado en el cuerpo de la Tabla No 6, corresponde a las áreas bajo la curva, ubicando los valores de renglón y la columna correspondiente. El valor es 1,96 el cual es la suma de 1.9 (valor en **x**) + 0,06(valor en **y**) igual a 1,96 y representa 0,475 como indica en la Tabla No 5.

Tabla 5.
Áreas bajo la curva

| z | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ∴ | ∴ | ∴ | ∴ | ∴ | ∴ | ∴ | ∴ | ∴ | ∴ | ∴ |
| 1.5 | 0.4332 | 0.4345 | 0.4357 | 0.4370 | 0.4382 | 0.4394 | 0.4406 | 0.4418 | 0.4429 | 0.4441 |
| 1.6 | 0.4452 | 0.4463 | 0.4474 | 0.4484 | 0.4495 | 0.4505 | 0.4515 | 0.4525 | 0.4535 | 0.4545 |
| 1.7 | 0.4554 | 0.4564 | 0.4573 | 0.4582 | 0.4591 | 0.4599 | 0.4608 | 0.4616 | 0.4625 | 0.4633 |
| 1.8 | 0.4641 | 0.4649 | 0.4656 | 0.4664 | 0.4671 | 0.4678 | 0.4686 | 0.4693 | 0.4699 | 0.4706 |
| 1.9 | 0.4713 | 0.4719 | 0.4726 | 0.4732 | 0.4738 | 0.4744 | 0.4750 | 0.4756 | 0.4761 | 0.4767 |
| 2.0 | 0.4772 | 0.4778 | 0.4783 | 0.4788 | 0.4793 | 0.4798 | 0.4803 | 0.4808 | 0.4812 | 0.4817 |
| 2.1 | 0.4821 | 0.4826 | 0.4830 | 0.4834 | 0.4838 | 0.4842 | 0.4846 | 0.4850 | 0.4854 | 0.4857 |
| 2.2 | 0.4861 | 0.4864 | 0.4868 | 0.4871 | 0.4875 | 0.4878 | 0.4881 | 0.4884 | 0.4887 | 0.4890 |
| 2.3 | 0.4893 | 0.4896 | 0.4898 | 0.4901 | 0.4904 | 0.4906 | 0.4909 | 0.4911 | 0.4913 | 0.4916 |
| 2.4 | 0.4918 | 0.4920 | 0.4922 | 0.4925 | 0.4927 | 0.4929 | 0.4931 | 0.4932 | 0.4934 | 0.4936 |

Fuente: (Douglas, Marchal, y Wathen, 2012).

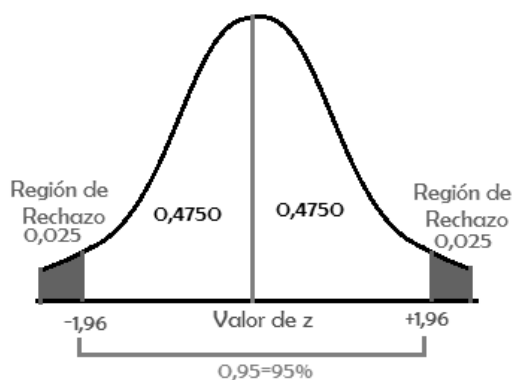


Figura 7 Representación del Intervalo de confianza del 95%.

El error estándar o desviación estándar de la distribución de la muestra se ve afectada por la desviación estándar de la población σ y mientras mayor sea este valor, mayor será el error estándar $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, tomando en cuenta que también afecta la cantidad de observaciones de la muestra.

Por esa razón, el intervalo de confianza de la media poblacional cuando se conoce la desviación estándar se computa de la siguiente manera:

$$\bar{X} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (11)$$

Si se desea calcular el intervalo de confianza al 95% se plantea de la siguiente manera

$$\bar{X} \pm 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (12)$$

3.3. Elección del tamaño muestral

La muestra permite que la estimación de parámetro de la población sea aceptable. Para tomar esta decisión se toma el margen de error, nivel de confianza y la dispersión de la población, conforme el siguiente procedimiento:

- *Margen de error:* corresponde al máximo error admisible que se tolera al estimar un parámetro poblacional, se denota con la letra E . Si se desea obtener un margen de error pequeño el tamaño de la muestra debe ser grande, sin embargo, emplea mayor tiempo y dinero para obtenerla.
- *Nivel de confianza:* depende del valor de z correspondiente al nivel de confianza que se desea obtener desde 0 a 100%. Si se utiliza muestras grandes se requiere niveles de confianza mayores.
- *Dispersión de la población:* Si la dispersión de la población es grande se requiere una muestra más grande, pero si la dispersión es homogénea el tamaño requerido para la muestra será menor.

Para calcular una media poblacional se requiere la iteración de los tres factores anteriormente descritos; además, el margen de error que permite calcular los extremos del intervalo de confianza se representa mediante la siguiente fórmula:

$$E = z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (13)$$

dónde:

$n \rightarrow$ tamaño de la muestra,
 $e \rightarrow$ error máximo admisible,
 $\sigma \rightarrow$ desviación estándar de la población,
 $z \rightarrow$ valor del nivel de confianza deseado.

Por tanto, el tamaño de la muestra para estimar la media poblacional se representa por la siguiente fórmula:

$$n = \left(\frac{z\sigma}{e}\right)^2. \quad (14)$$

Los factores que permiten calcular el tamaño de la muestra cuando se desee calcular una proporción conforman la siguiente fórmula:

$$n = \pi(1 - \pi) \left(\frac{z}{e}\right)^2, \quad (15)$$

dónde:

$\pi \rightarrow$ variación de la población.

Las elecciones del estadístico z y el margen de error e son las mismas que para calcular la media poblacional. Sin embargo, en este caso la desviación estándar de la población de una distribución normal está representada por $\pi(1 - \pi)$ (Douglas, Marchal, y Wathen, 2012). En el caso que no se pueda encontrar un valor confiable, este será reemplazado por 0,5 por lo que sin una buena estimación de la proporción de la población se sobreestima el tamaño de la muestra.

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DE UN RADIOENLACE

4.1. Planificación inicial de un Radioenlace

Para determinar las prestaciones de un sistema de comunicación de acceso inalámbrico es importante establecer la correcta planificación del enlace radioeléctrico con el fin de alcanzar una alta disponibilidad del sistema.

En primer lugar, se debe analizar la ubicación de estudio de la zona para establecer una estimación teórica del cálculo de alcance, la banda de frecuencia, características climáticas de la zona y especificaciones técnicas de los equipos de transmisión y recepción, dentro de estos se encuentra la ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor, tasa de error y potencia de transmisión y recepción.

Posteriormente se debe realizar la instalación de equipos y analizar los resultados obtenidos para luego ser comparados con un software radioeléctrico que permita estimar la cobertura de cada radioenlace, así como los posibles niveles de interferencia y pérdidas.

4.2. Situación Geográfica

La Provincia de Orellana, ubicada en la región nororiental del Ecuador, en la zona geográfica conocida como región amazónica, su capital es Puerto Francisco de Orellana más conocido como la ciudad del Coca cuyo territorio ocupa 21.675 km². La provincia de Orellana representa la tercera provincia del país por extensión. Se encuentra a 254 m. sobre el nivel del mar. La ciudad está ubicada en la confluencia de los ríos Napo y Coca, por lo que posee un puerto importante para el país, ya que sirve como centro de transferencia de pasajeros y carga hacia el río Amazonas, para comunicar el comercio ecuatoriano con el puerto Manaos.

El clima es cálido húmedo, la temperatura varía entre 20° C y 40° C debido a su altitud (254 m) vegetación (INEC, 2015) . Un mapa para para aclarar la situación geográfica es presentado en la Figura 8.



Figura 8 Provincia de Orellana
Fuente: (Ministerio de Turismo, 2014)

4.3. Ubicación de Estudio

4.3.1. Ubicación del Transmisor

Para establecer los diferentes radioenlaces, la ubicación del transmisor se realizó en un espacio abierto, en medio de la selva, aproximadamente a 46,6 Km de la ciudad del Coca, esta ubicación se constituye en un punto estratégico para analizar la propagación dentro de la selva, dado que tiene obstáculos naturales, y una vegetación densa en los espacios adyacentes en todos sus puntos cardinales. Las coordenadas del punto de transmisión son las siguientes:

Latitud: 00° 28' 00"

Longitud: 00° 33' 00"

Para obtener los mapas de elevación del territorio se debe ingresar al software *Radio Mobile*, el cual utiliza base de datos de mapas SRTM. Únicamente se requiere especificar la coordenada geográfica que corresponde al centro del área en el icono de propiedades, y así el software recortará el área cuadrada NxN en Km², como se indica en la Figura No 9.

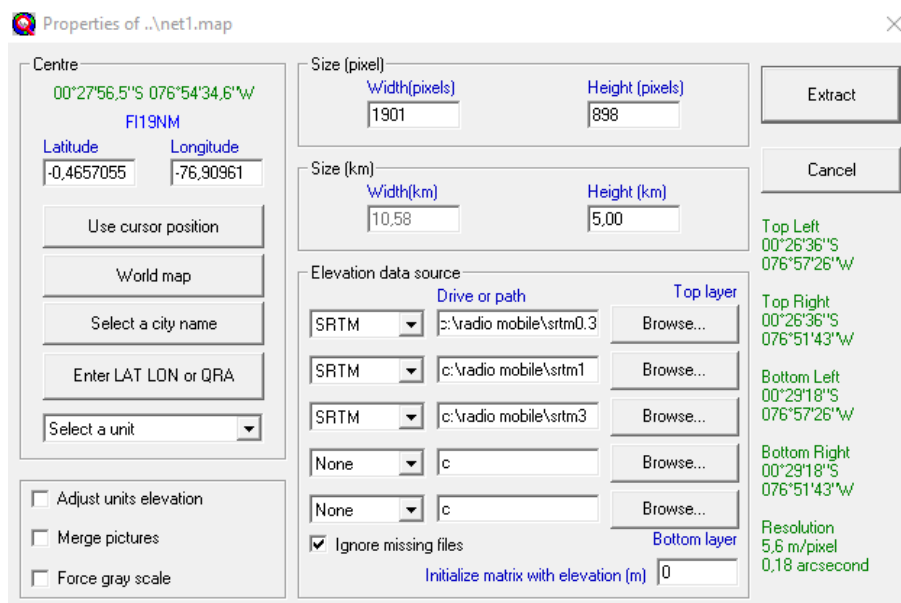


Figura 9 Descarga de mapas para coordenadas establecidas

4.3.1. Ubicación de los receptores

Las situaciones geográficas de la zona junto con las características topográficas de terreno facilitan la designación de puntos específicos para verificar las condiciones bajo las cuales se está estableciendo el enlace a través del medio. Por tanto, los receptores se ubicaron en diferentes lugares alrededor de la estación transmisora, calculados desde 500 m en adelante con el fin de cumplir los parámetros establecidos por el modelo de propagación *Longley Rice*. Las coordenadas de los diferentes puntos de recepción se encuentran en la Tabla No 6.

Tabla 6.
Coordenadas de los puntos de recepción

| Nombre del Punto | Latitud | Longitud | Latitud Rectangular | Longitud Rectangular | Distancia |
|------------------|-----------|------------|---------------------|----------------------|-----------|
| M1 | -0.466667 | -76.8925 | 0°28'00.0"S | 76°53'33.0"W | 1810 m |
| M2 | -0.468549 | -76.92715 | 0°28'06.8"S | 76°55'37.7"W | 2060 m |
| I1 | -0.466111 | -76.899722 | 0°27'58.0"S | 76°53'59.0"W | 1000 m |
| I2 | -0.463928 | -76.919469 | 0°27'50.1"S | 76°55'10.1"W | 1200 m |
| I3 | -0.468889 | -76.906389 | 0°28'08.0"S | 76°54'23.0"W | 200 m |
| J1 | -0.469726 | -76.90697 | 0°28'11.0"S | 76°54'25.1"W | 450,28 m |
| J2 | -0.472366 | -76.908684 | 0°28'20.5"S | 76°54'31.3"W | 690,39 m |
| J3 | -0.473451 | -76.912902 | 0°28'24.4"S | 76°54'46.5"W | 920,85 m |
| J4 | -0.470835 | -76.914276 | 0°28'15.0"S | 76°54'51.4"W | 788,53 m |
| J5 | -0.467662 | -76.915382 | 0°28'07.6"S | 76°54'55.4"W | 775,15 m |
| J6 | -0.467662 | -76.913254 | 0°28'03.6"S | 76°54'47.7"W | 490,48 m |
| J7 | -0.477222 | -76.885556 | 0°28'38.0"S | 76°53'08.0"W | 2650 m |
| J8 | -0.47567 | -76.887225 | 0°28'32.4"S | 76°53'14.0"W | 2640 m |
| V1 | -0.47152 | -76.902497 | 0°28'17.5"S | 76°54'09.0"W | 926,97 m |
| V2 | -0.478935 | -76.891717 | 0°28'44.2"S | 76°53'30.2"W | 2400 m |
| V3 | -0.491978 | -76.892046 | 0°29'31.1"S | 76°53'31.4"W | 3410 m |
| V4 | -0.520687 | -76.891498 | 0°31'14.5"S | 76°53'29.4"W | 6400 m |
| V5 | -0.499541 | -77.007822 | 0°29'58.4"S | 77°00'28.2"W | 11650 m |

4.3.2. Mapa Digital

Los mapas digitales generan automáticamente mediciones sobre la ubicación de una zona seleccionada a través de *GPS* y fotos satelitales, incluyendo su hidrografía, calles, elevaciones, poblados, etc. Los softwares *Google Earth*, y *Google Maps* han desarrollado un gran avance en el estudio del terreno y puntos de localización siendo herramientas tan efectivas que con el tiempo irán desplazado el uso de cartas topográficas.

4.3.3. Elección y Trazado de Perfil

Para simular los radioenlaces que posteriormente se implementaron durante las pruebas y mediciones de campo, se utilizó el software de análisis radioeléctrico *Radio Mobile*, siguiendo los pasos que a continuación se explican:

- Ingresar al software *Radio Mobile*, seleccionar la barra de herramientas y hacer clic en *Nueva Red*, posteriormente se ingresan los parámetros de inicialización, conforme se ilustra en la Figura No 10.

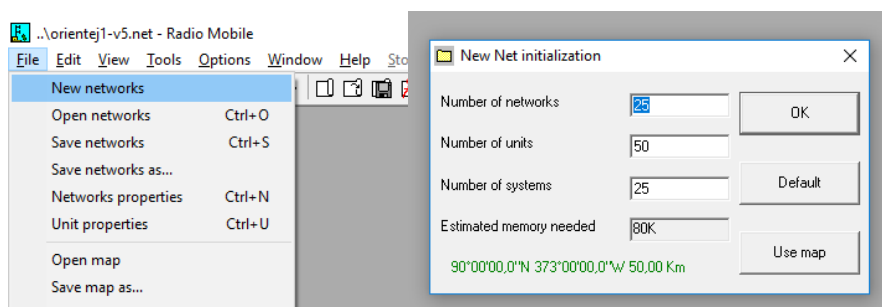



Figura 10 Inicialización de Parámetros

- Luego de seleccionar los parámetros de inicialización, se extrae la ubicación dentro del mapa a través del ícono *Map Properties* , para posteriormente ubicar en el mapa por medio de la selección de la opción *World map*, o también ingresar las coordenadas de latitud y longitud, seleccionando la opción *Enter LAT LON or QRA*, finalmente hacer clic en el botón *Extract*.

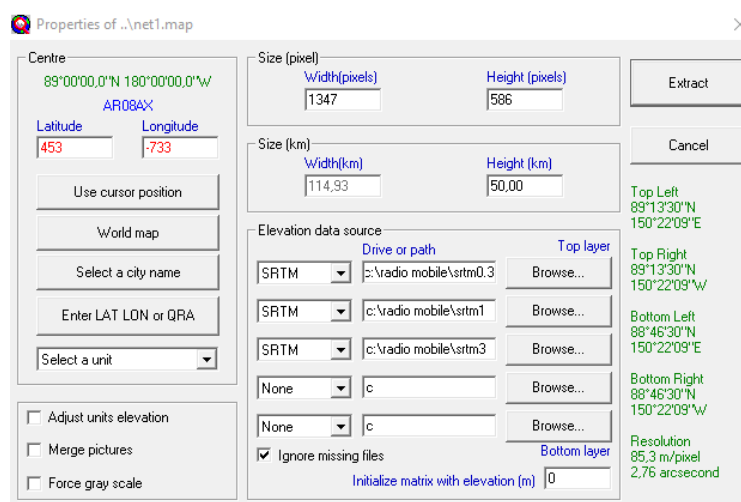



Figura 11 Propiedades de Mapa

En el icono de propiedades de red  se ingresa los parámetros de red correspondientes a la frecuencia, polarización, variabilidad, clima, conductividad, refractividad y permeabilidad, tomando en cuenta la orografía del área de estudio.

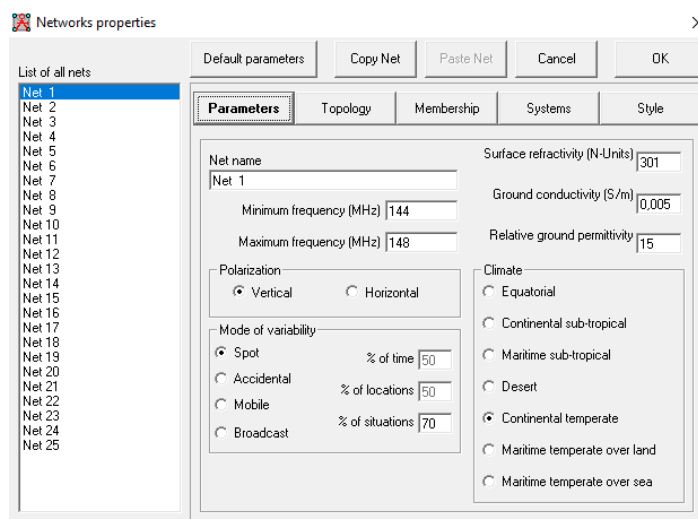


Figura 12 Opción Propiedades de Red para la selección Parámetros

En la opción de *Systems*, ingresar los parámetros de potencia de transmisión o recepción, línea de pérdidas, y las características de cada antena ya sea de transmisión o recepción de acuerdo con el sistema que se desee caracterizar.

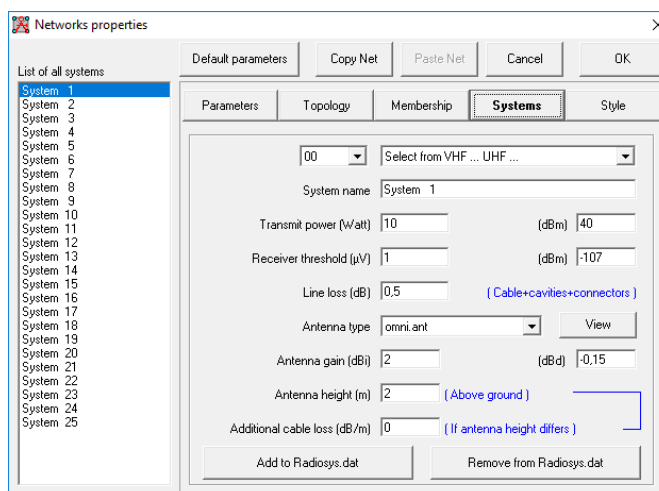


Figura 13 Opción propiedades de Red en botón selección de sistemas

4.4. Determinación de Equipos

Los equipos seleccionados para establecer los diferentes radioenlaces deberán cumplir los requerimientos impuestos en la Tabla No 8 que presenta características de los equipos utilizados como transmisor y receptor.

Tabla 7.

Configuración de equipos

| Parámetros | Medidas |
|-------------------------|---|
| Banda de Frecuencia | HF |
| Frecuencia Central | 25 MHz |
| Potencia de Transmisión | High 20 Vatios Medium: 5 Vatios Low: 1 Vatios |
| Modulación | AM LSB |
| Altura antena Tx | 5 m |
| Altura antena Rx | 2,5 m |
| Polarización | Vertical |
| Tipo de Clima | Ecuatorial |

Los equipos que cumplen con las especificaciones establecidas en la Tabla No 8 son los siguientes:

4.4.1. Analizador de Espectros

Equipo que permite realizar mediciones de RF esenciales, cuenta con analizador de red de vectores, analizador de espectro, medidor de potencia y voltímetro vectorial. Este equipo permite medir y monitorear la potencia de recepción de las distintas frecuencias de radiodifusión. Sus características se indican en la siguiente tabla:

Tabla 8.*Características de equipos*

| Marca | ANRITSU |
|------------------------|---------------|
| Modelo | MS2036A |
| Rango de Operación | 2 MHz a 6 GHz |
| Temperatura de Trabajo | -10°C a 55°C |
| Impedancia de entrada | 50 Ohms |

**Figura 14** Analizador de Espectros**Fuente:** (Anritsu, 2000)

4.4.2. Radio Táctica Militar

Se utilizó una radio militar, parte del sistema de comunicaciones tácticas, con las siguientes características: multibanda, portátil HF-SSB/VHF-FM, establece comunicaciones con un sistema propietario de cifrado de voz y datos. El rango de frecuencia extendida del transceptor (60 MHz) proporciona voz y datos seguros con modulación FSK de 16 kbps en la banda VHF. Es como tener dos radios en un paquete compacto. Esta radio pertenece al Ejército Ecuatoriano y fue solicitada como medio de transmisión para las pruebas de la presente investigación.



Figura 15 Radio de táctica militar

Tabla 9.

Características transceptor

| Marca | RADIO TÁCTICA MILITAR |
|------------------------|--|
| Rango de Frecuencia | 1.6-59.999 MHz |
| Sensibilidad | SSB: -113 dBm ($0.5 \mu\text{V}$) |
| Temperatura de Trabajo | -40°C a 70°C |
| Impedancia de entrada | 50 Ohms |
| Salida de Audio | 15 mW at 1000 ohm |
| Potencia de Salida | 1, 5, 20 vatios |
| Entrada de Audio | 1.5 mV at 150 ohm |
| Salida de Audio | 15 W at 1000 ohm |

4.4.3. Antena Dipolo

Esta antena consiste en dos elementos conductores colineales con una medida igual a la media longitud de onda, en donde el generador se coloca en la parte central.

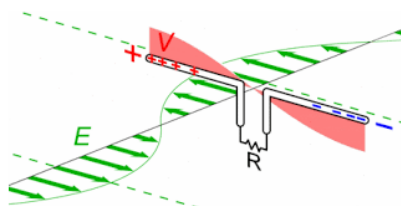


Figura 16 Antena de Dipolo

Fuente: (Terman, 1995)

Esta antena utiliza configuración que permite incrementar su ganancia y direccionalidad en el plano de elevación. En la Figura No 17 se puede ver en el patrón de elevación con múltiples antenas de dipolo, que son muy direccionales en el plano vertical. Debido a que la antena de dipolo radia igualmente en todas las direcciones del plano horizontal, es capaz de operar igualmente bien en configuración vertical (Martinez, 2015) .

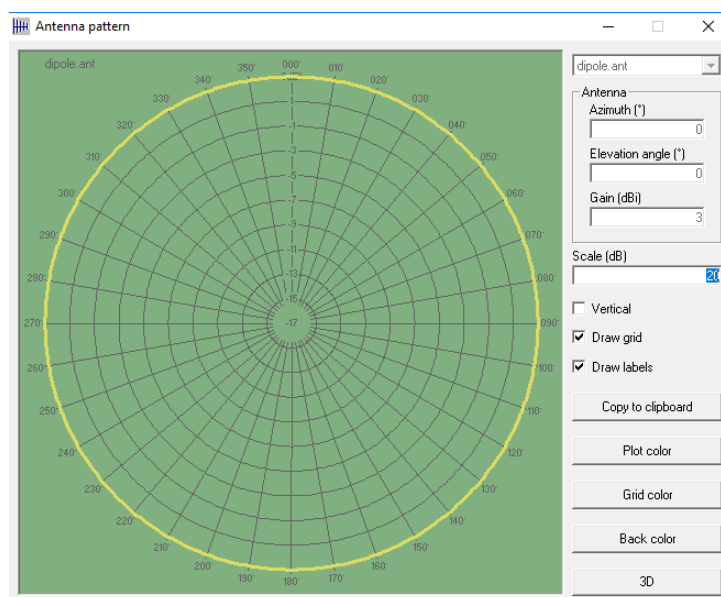


Figura 17 Patrón de Radiación

4.4.4. Antena Multipolarizada Super M

Diseñada para aplicaciones HAM (uso de espectro de radio frecuencia para fines de intercambio no comercial de mensajes radio amateur), escáner y comunicaciones gubernamentales / comerciales bidireccionales, la antena *Multipolarized Super-M Ultra Base Station* cubre de forma perfecta la gama de frecuencias de 25MHz a 6GHz (transmisión de 88MHz a 6GHz), proporcionando una comunicación inalámbrica en "*Line-of-sight (NLOS)*." La antena Super-M Ultra estación base es el estándar de comunicación de dos vías que incorpora tecnología de antena multipolarizada para máxima estabilidad de señal y es la antena de ancho de banda más amplia del mercado" (Hernández, 2009). Para obtener el máximo rendimiento, es recomendable utilizar antenas Super-M en el receptor y el transmisor, puesto que se suman las ganancias de dos

elementos, lo que permite reducir aún más las zonas muertas, el cual se encuentra en un punto donde no existe alcance de una onda de radio (Universal Radio, 2009).



Figura 18 Antena Super M Base
Fuente: (Universal Radio, Inc., 2009)

Por otro lado, se encuentra el patrón de radiación de la antena omnidireccional, no es perfecto puesto que se obtuvieron medidas de potencia en el campo para levantar el patrón.

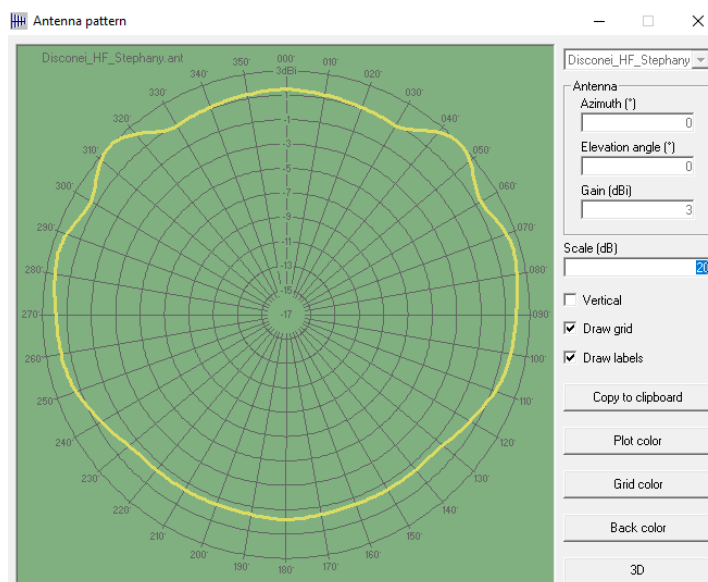


Figura 19 Patrón de Radiación antena Omnidireccional

4.4.5. Cables Guiados y Conectores

Representan medios físicos por donde viaja la información desde su fuente a su destino. Los cables y conectores que se utilizaron para la conexión de la antena al analizador de espectros son los siguientes:

Tabla 10.

Parámetros de cables y conectores

| Material | Diametro Externo [mm] | Pérdidas [dB/M] | Impedancia [Ohms] |
|-----------------|-----------------------|-----------------|-------------------|
| Cable RG316 | 1,28 | 1,28 | 50 |
| Conector Tipo N | 0,8 | 0,029 | 50 |

4.5. Instalación de Elementos

4.5.1. Instalación de antena Super M Base Station

La antena Super M Base Station incorpora tecnología de antena MP (Multipolarizada) para una máxima estabilidad de señal. Para la instalación primero se debe ubicar las partes que corresponden a la parte inferior de la antena, es decir primero el conector hembra junto con el soporte de montaje del mástil. Posteriormente insertar los ocho elementos en el lado del cubo inferior ajustado con el set de tornillos inferiores

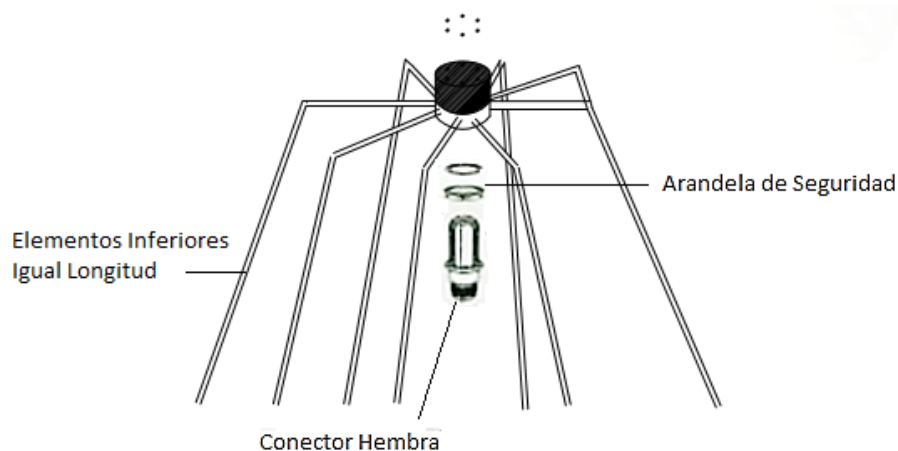


Figura 20 Instalación parte inferior antena Super M Base

Iniciando desde cualquier orificio, insertar los seis elementos superiores de acuerdo con los colores como se indica en la Figura No 22, coloque en orden y asegure con las abrazaderas de gusano.

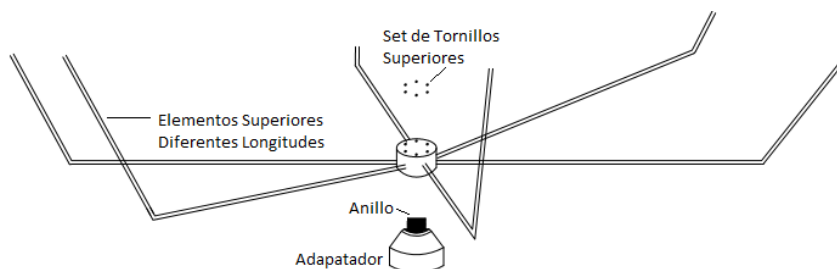


Figura 21 Instalación de la parte superior de la antena Super M Base

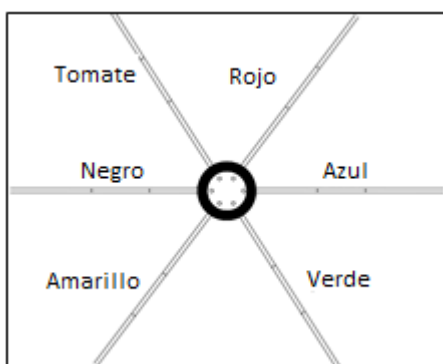


Figura 22 Orden de colores para de elementos superiores de la antena

4.5.2. Instalación antena dipolo

El dipolo portátil es una antena cuya operación máxima es de 400 vatios, trabaja desde 2-30 MHz. Se puede configurar como un dipolo, dipolo inclinado, o una V inclinada. La antena se almacena en carretes planos, con pesos de lanzamiento para la conexión a árboles, edificios o mástiles. Puede conectarse directamente al transceptor con el acoplador de antena incorporado o conectado a un acoplador de antena externo con conectores macho BNC y un conector BNC Tipo N adaptador. Para su conexión es necesario realizar el cálculo en dipolos mediante la ecuación No 1 y calcular el largo de cable que debe templarse como se indica en la Figura No 23.

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

dónde:

$\lambda \rightarrow$ longitud de onda (metros por ciclo),

$c \rightarrow$ velocidad de la luz (3×10^8),

$f \rightarrow$ frecuencia (hertz).

Para calcular el tamaño L del dipolo, considerando una frecuencia de 30 MHz, se emplea la ecuación No. (1); Sin embargo, se realiza una modificación a la forma de cálculo, a fin de trabajar con una antena de tamaño “lamda medios”:

$$L \left(\frac{\lambda}{2} \right) = \frac{c}{f},$$

$$L \left(\frac{\lambda}{2} \right) = \frac{150 \times 10^6}{30 \times 10^6} = 5 \text{ m} \rightarrow \text{Longitud Total.}$$

$L \left(\frac{\lambda}{2} \right)$ constituye la longitud total del elemento radiante, pero como se debe alimentar en el centro, es necesario partirlo en dos, es decir, utilizar la técnica de “lamda medios”, por tanto, cada rama tendrá 2,5 m.

Tabla 11.

Longitud total del dipolo a diferentes frecuencias

| Longitud de Onda | Frecuencia [MHz] | Longitud Total [m] | longitud cada rama [m] |
|---------------------|------------------|--------------------|------------------------|
| λ | 30 | 10 | 5 |
| | 25 | 12 | 6 |
| $\frac{\lambda}{2}$ | 30 | 5 | 2,5 |
| | 25 | 6 | 3 |

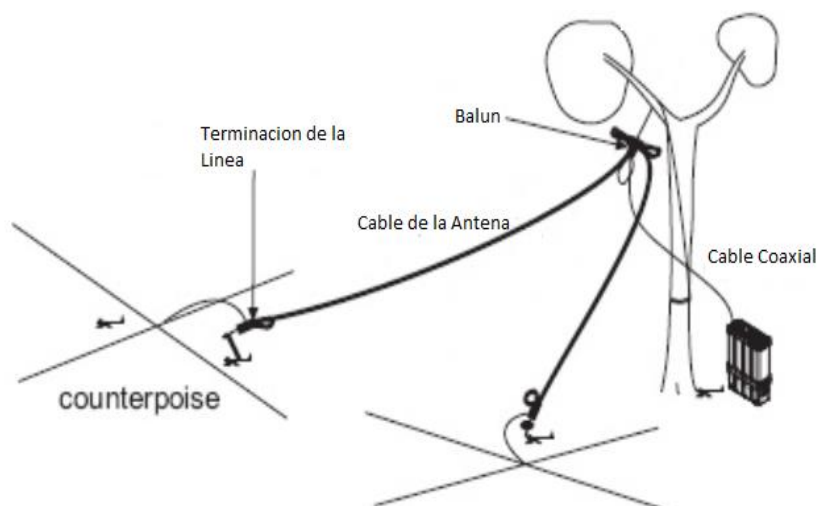


Figura 23 Instalación de la antena de dipolo HF

4.6. Balance de Enlace

4.6.1. Sistema de Transmisión

En la Tabla No 12 se indican los parámetros seleccionados para la configuración del equipo transmisor considerando cada medida con su respectiva unidad.

Tabla 12.

Parámetros del transmisor

| Nombre Equipo | Nombre Antena | Potencia de Transmisión | Umbral de Recepción | Pérdidas de Línea | Tipo de Antena | Ganancia de la antena | Altura de la antena |
|---------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|----------------|-----------------------|---------------------|
| Radio Militar | <i>Portable Dipole Antenna</i> | High 20 W | -107 dBm | 0,8 dB | Dipolo | 6 dBi | 5 m |
| Radio Militar | <i>Portable Dipole Antenna</i> | Medium 5 W | -107 dBm | 0,8 dB | Dipolo | 3 dBi | 5 m |
| Radio Militar | <i>Portable Dipole Antenna</i> | Low 1 W | -107 dBm | 0,8 dB | Dipolo | 1 dBi | 5 m |

4.6.2. Sistema de Recepción

Para el sistema de recepción, se establecieron los siguientes parámetros con su respectiva unidad como se presenta en la Tabla No 13.

Tabla 13.
Parámetros del receptor

| Nombre Equipo | Nombre Antena | Umbral de Recepción | Pérdidas de Línea | Tipo de Antena | Ganancia de la antena | Altura de la antena |
|--------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|----------------|-----------------------|---------------------|
| Anritsu Site Master Analizador | Super M Base Station | -107 dBm | 0,7 dB | Omni | 3 dBi | 1,5 m |

4.6.3. Cálculo de los parámetros del radioenlace

4.6.3.1. Potencia de Recepción

Mediante el uso del modelo de propagación *Longley-Rice* se puede determinar las pérdidas en los enlaces mediante difracción, se lo toma en consideración debido a que el diseño de la red se realizó mediante el programa de simulación *Radio Mobile*, además que este tipo de modelo posee características que permiten determinar las pérdidas en un terreno irregular mediante los parámetros que inciden sobre el radioenlace. Para poder determinar las pérdidas se consideraron los puntos donde podría existir más obstrucción, es decir, se tomó en cuenta las ubicaciones donde se interponía una densa vegetación y la presencia de una cadena montañosa, las cuales de hecho van a generar pérdidas en el enlace. A continuación, se indicarán los pasos para poder determinar las pérdidas existentes mediante este modelo.

- Inicialmente se procede a tomar en consideración la altura del obstáculo más elevado que se observa en el trayecto y que va a causar obstrucción, esto permite observar la ubicación de la primera zona de *Fresnel*.
- Se procede a calcular las pérdidas por medio de las siguientes ecuaciones:

$$H1 = h1 + h1'[m], \quad (8)$$

$$H2 = h2 + h2' [m], \quad (9)$$

$$H_{des} = \frac{H1 \cdot d2 + H2 \cdot d1}{D} - Ho - 0,0785 \frac{d1 \cdot d2}{k}, \quad (10)$$

$$R_{F1}(m) = 547,72 \sqrt{\frac{d1(Km) * d2(Km)}{f(MHz) * D(km)}}, \quad (11)$$

dónde:

$h1'$ → altura de la antena del transmisor [m],

$h1$ → altura sobre el nivel del mar del punto del transmisor [m],

$h2$ → altura sobre el nivel del mar del punto del receptor [m],

$h2'$ → altura de la antena en el receptor [m],

$d1$ →

distancia desde el transmisor [m] hasta el primer obstáculo o punto más alto [km],

$d2$ → distancia desde el receptor al punto más alto [km],

D → es la sumatoria de $d1$ y $d2$ [m],

k → es el valor de corrección del radio de la tierra aproximadamente 4/3,

Ho → altura sobre el nivel del mar del obstáculo [km],

M → Margen de despeje [m],

f → frecuencia del canal (Mhz).

- Se debe determinar si la primera zona de *Fresnel* que se encuentra liberada mediante la siguiente relación:

$$\frac{H_{des}}{R_{F1}} \quad (12)$$

- Determinar el margen de despeje mediante la ecuación 17 para analizar si existe una obstrucción y seguidamente se calculan las pérdidas, mediante la siguiente igualdad:

$$M_m = H_{des}(m) - R_{F1}(m). \quad (13)$$

Si $M_m < 0$ se determina que existe una obstrucción y se procede a calcular la atenuación producida por un obstáculo con la ecuación 18:

$$v = (2)^{\frac{1}{2}} \left(-\frac{H_{des}}{R_{F1}} \right). \quad (14)$$

Si $v > -1$, las pérdidas por obstrucción se obtienen aplicando la ecuación 19 o 20, según corresponda:

$$L_D(V)_{dB} = 6,9 + 20 \log(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1) \quad \text{si } v > 1, \quad (15)$$

$$L_D(V)_{dB} = 0 \quad \text{si } v < -1. \quad (16)$$

4.7. Descripción Técnica de la Red

La comprobación de los parámetros de radioenlace al igual que el cálculo realizado se establece mediante trayectos, permitiendo analizar las pérdidas básicas en los sistemas de radiocomunicación. *Radio Mobile* utiliza mapas digitales SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de la NASA, el cual se pueden obtener de forma gratuita a través de internet.

Para la comprobación de los parámetros del radioenlace en mediciones de campo se estableció la ubicación de puntos estratégicos sincronizados a horas preestablecidas, es decir, se ubicaron puntos a diferentes distancias del punto central y mediante un horario de sincronización se configuraron las diferentes frecuencias, las cuales fueron monitoreadas con transmisión a diferentes niveles de potencia, conforme las capacidades del sistema radiante del transmisor.

4.7.1. Pasos para la medición de campo

Para medir la potencia de recepción de cada radioenlace se realizaron los siguientes pasos:

- Previamente armada la antena de recepción Super Ultra M Base como se indicó en la Figura No 22, se procede a localizar el equipo receptor en la ubicación establecida, y se conecta la antena de recepción M Base al analizador de espectros, el cual levantará la

señal de la portadora y medirá la potencia de recepción. La modulación utilizada para el análisis de la frecuencia en este caso es AM, ya que es más inmune a los ruidos atmosféricos o descarga estática permitiendo que la modulación de amplitud capte más fácilmente los datos de recepción.

- Verificar en la pantalla del analizador *Site Master* la forma horizontal como se mide la frecuencia y en la vertical la amplitud de frecuencia llamada *SPAN*. Seguidamente se procede a corroborar los datos de la señal recibida, tanto en valores numéricas, cuanto en el audio de recepción de la señal. Seleccionar la opción de preamplificador en el caso que la señal de recepción sea deficiente.
- Guardar cambios mediante memoria flash de 2 Gb y monitorizar cada frecuencia seleccionada para capturar diferentes eventos.

4.7.2. Pasos para la Simulación del Radioenlace en software *Radio Mobile*

Para la simulación del radioenlace mediante el software *Radio Mobile* se realizan los siguientes pasos:

- Seleccionar opción Inicio en el software *Radio Mobile*, realizar clic en archivo y propiedades de mapa como se indicó en la Figura No 11.
- Ingresar las coordenadas del punto de transmisión, y finalmente extraer el mapa.

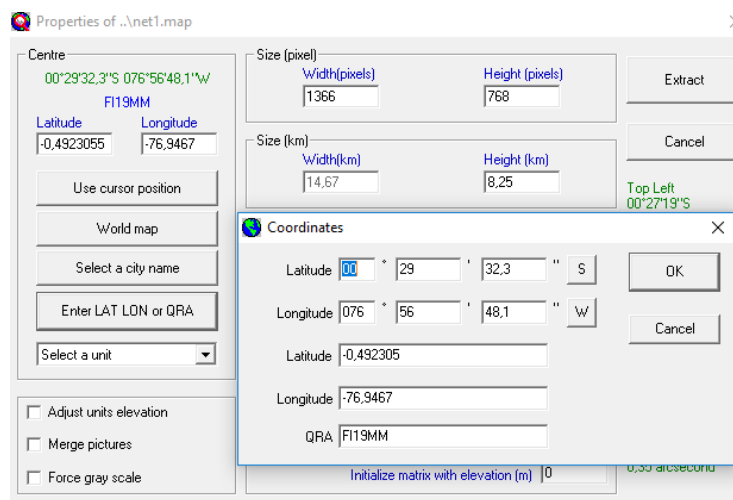


Figura 24 Ubicación punto de transmisión

- Configurar los parámetros de red en la opción de *Propiedades de red* como se explicó en la Figura No 13 y, posteriormente conformar los parámetros de Red cuya frecuencia se encuentra en el rango de los 20, 25 ó 30 MHz, juntamente con los datos previamente estudiados por los equipos como se indica en la Figura No 25.

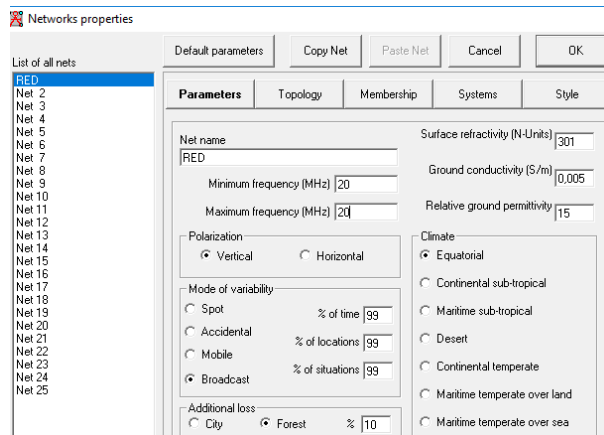


Figura 25 Configuración parámetros de red

- Ingresar en la pestaña *Systems* los diferentes sistemas que permiten ingresar parámetros para transmisión de potencia en alta (High) media (Medium) y baja (Low) como se indica en las siguientes Figuras. De igual manera se ingresa cada argumento correspondiente en cada nivel de potencia.

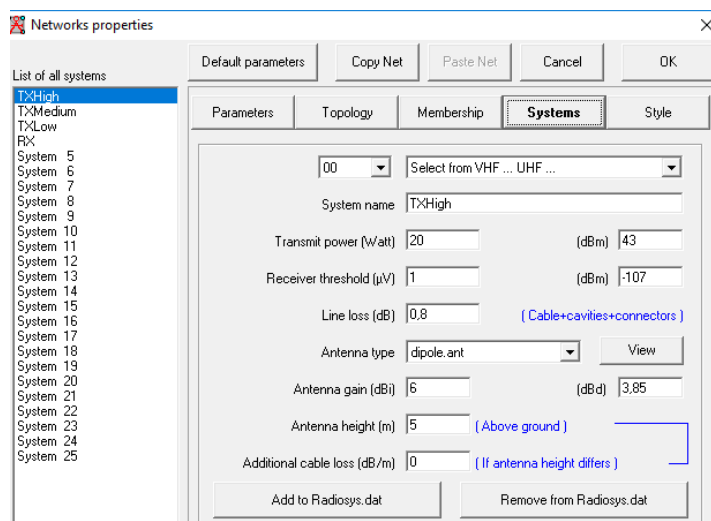


Figura 26 Configuración de sistema para transmisión en High 20 W

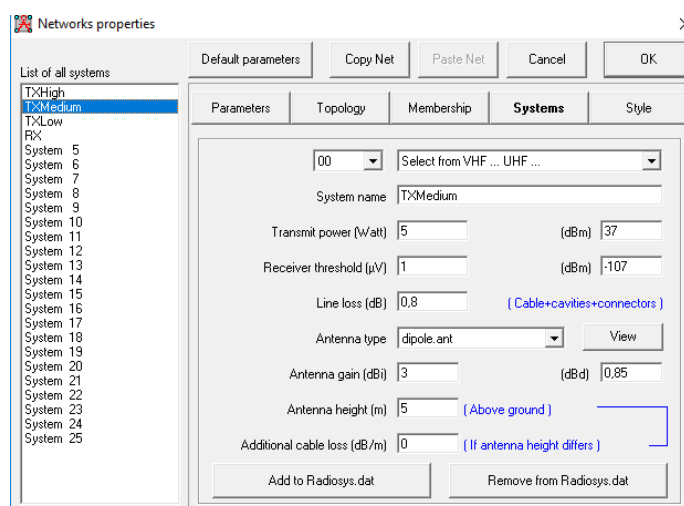


Figura 27 Configuración de sistema para transmisión en Medium 5 W

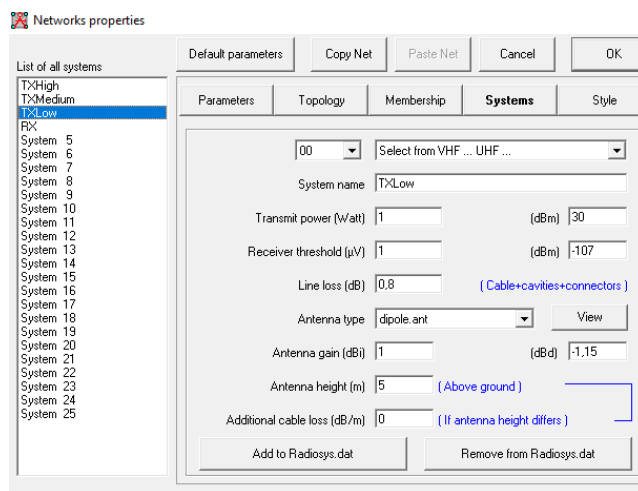


Figura 28 Configuración de sistema para transmisión en Low 1 W

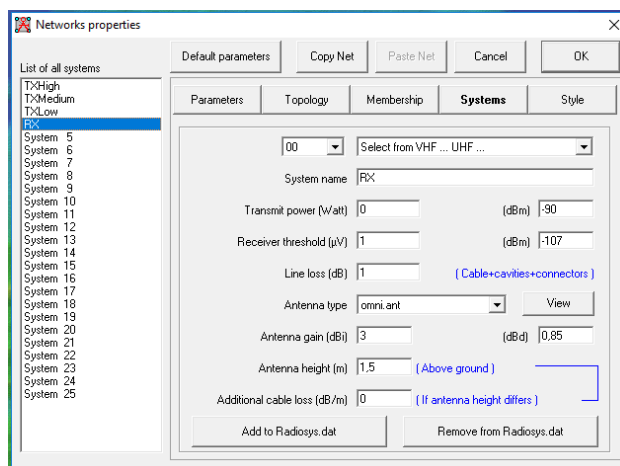


Figura 29 Configuración de sistema para Recepción

Para la selección de *Miembros* en el programa *Radio Mobile*, la red propuesta mostrada en la Figura No 30 consta de 18 unidades distribuidas a diferentes distancias de la estación base. La topología corresponde a una red maestro-esclavo, la cual es la opción establecida por el software y permite verificar el desempeño del modelo de propagación *Longley Rice*, analizando la comunicación entre transmisor (*Master*) y receptores (*Esclavos*).

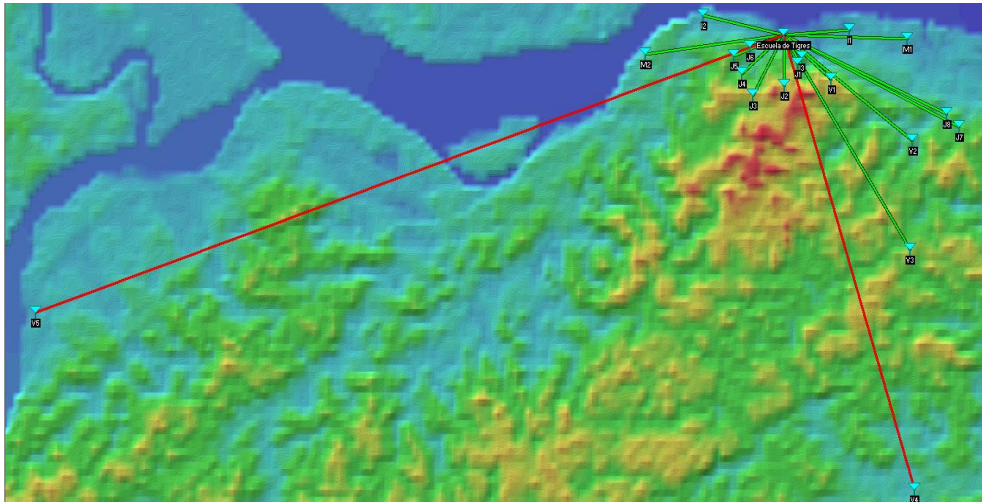


Figura 30 Topología Red Maestro Esclavo

4.7.3. Determinación de Área de Cobertura

Una vez establecidos los parámetros de transmisión y recepción, el programa *Radio Mobile* entregará los resultados de acuerdo con la característica del radioenlace, destacando resultados como: potencia, recepción, distancia, azimut, pérdidas, ángulos de elevación, nivel de recepción, zona de Fresnel, campo eléctrico y recepción relativa.

Con el propósito de obtener una referencia en el nivel de señal, se realizó la medición de 18 puntos esclavos, cuyos niveles de cobertura se indican en la Figura No 31. La interfaz gráfica, asigna un color verde al gráfico cuando existe comunicación entre el transmisor y receptor caso contrario, el enlace es de color rojo como se muestra en algunos puntos cuando no existe comunicación entre transmisor y receptor.

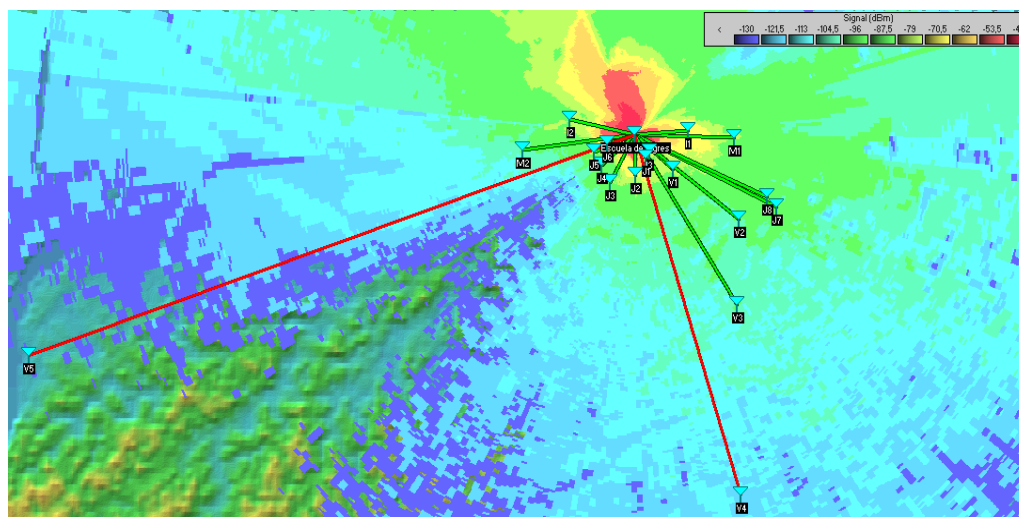


Figura 31 Nivel de Cobertura de radioenlace

4.8. Comprobación de parámetros del enlace simulados y medidos

Para la comprobación de los parámetros en cada enlace se puede verificar los resultados que arroja el software *Radio Mobile*, seleccionando la opción *Propiedades de red*, y posteriormente en *Parámetros de frecuencia* para cada radioenlace, seleccionar el icono *Radio Link* que permite simular el radioenlace con sus resultados; indicados en la sección 4.8.1.

4.8.1. Comprobación resultados a 20 MHz

- **Simulación de enlace a distancia M1=1810 m para transmisión de potencia en nivel medio (5 Vatios) y bajo (1 Vatio).**

Las siguientes Figuras permiten observar la potencia de recepción y características del enlace, mediante la configuración de los parámetros de transmisión con potencias en nivel medio es decir 5 vatios, y bajo 1 vatio correspondientemente.

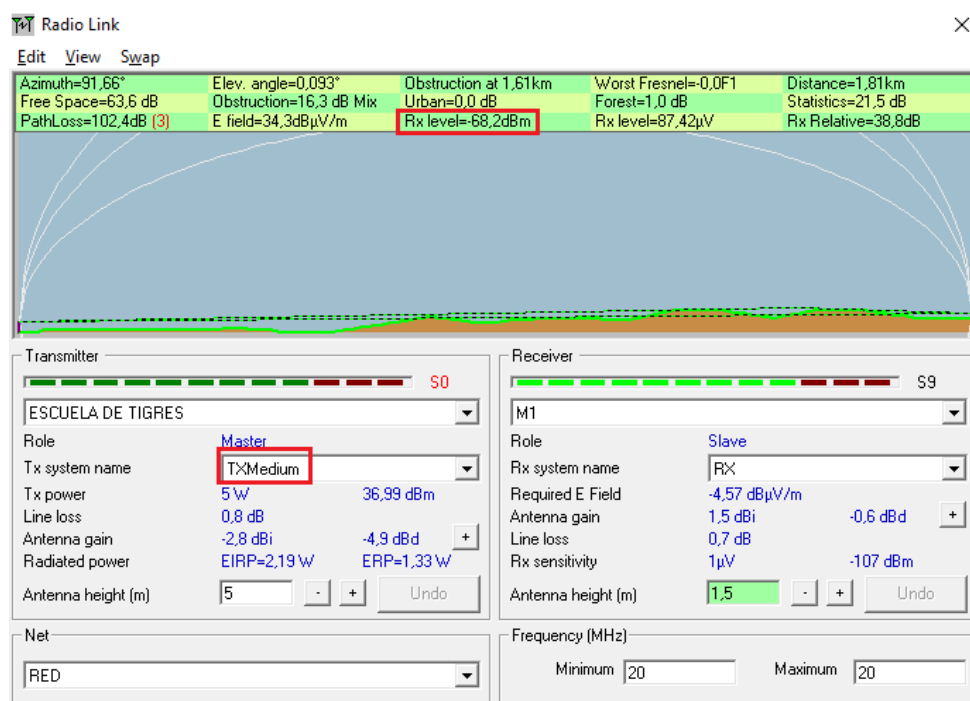


Figura 32 Simulación de radioenlace con potencia de recepción a nivel Medio 5 W y distancia 1,81 Km

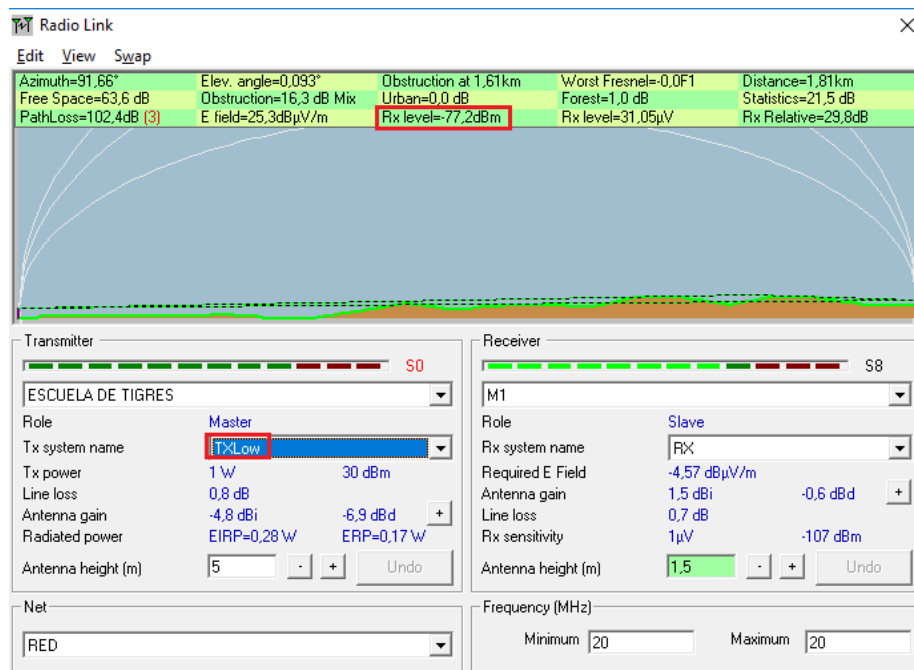


Figura 33 Simulación de radioenlace con potencia de recepción en nivel bajo 1 W a distancia 1,81 Km

- **Mediciones en campo para enlace a distancia M1=1810 m para transmisión de potencia en nivel medio (5 Vatios) y bajo (1 Vatio).**

En la Tabla No 14 se indican los resultados de mediciones de nivel de potencia de recepción obtenida a través del analizador de espectros *Anritsu Site Master*, utilizando una frecuencia central de 20 MHz a distancia de 1810 m para potencias de transmisión en nivel medio y bajo.

Tabla 14.

Mediciones de campo a frecuencia de 20 MHz.

| N Numero de Muestras | Potencia [Vatios] | Distancia M1=1810[m] |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1 | 5 | -73,43 |
| 2 | 5 | -80,82 |
| 3 | 5 | -92,36 |
| 4 | 5 | -88,42 |
| 5 | 5 | -84,26 |
| 6 | 5 | -90,12 |
| 7 | 5 | -79 |
| 8 | 5 | -83,04 |
| 9 | 5 | -95,7 |

| | | |
|----|---|--------|
| 10 | 5 | -96,36 |
| 11 | 5 | -95,07 |
| 12 | 5 | -83,62 |
| 13 | 5 | -79,92 |
| 14 | 1 | -82,99 |
| 15 | 1 | -93,13 |
| 16 | 1 | -78,03 |
| 17 | 1 | -80,77 |
| 18 | 1 | -86,59 |
| 19 | 1 | -83,24 |
| 20 | 1 | -89,56 |

- **Simulación de enlace a distancia M2=2060 m para transmisión de potencia en nivel alto (20 Vatios), medio (5 Vatios) y bajo (1 Vatio).**

Las siguientes Figuras permiten observar la potencia de recepción y características del enlace, a través de la configurando de potencia de transmisión en nivel alto 20 vatios, medio de 5 vatios, y bajo 1 vatio correspondientemente.

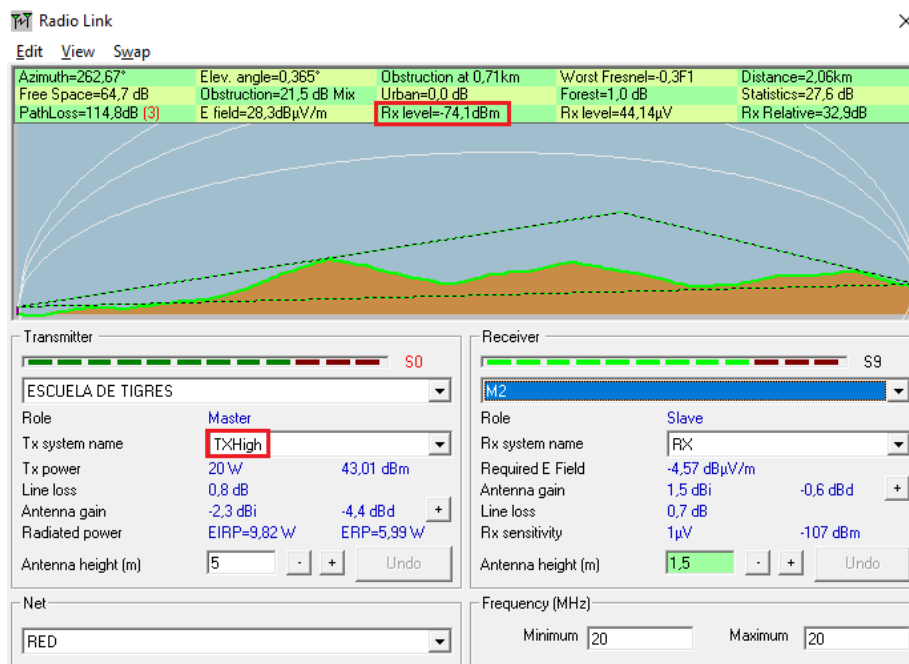


Figura 34 Simulación de radioenlace a potencia de recepción en nivel alto y distancia 2,06 Km

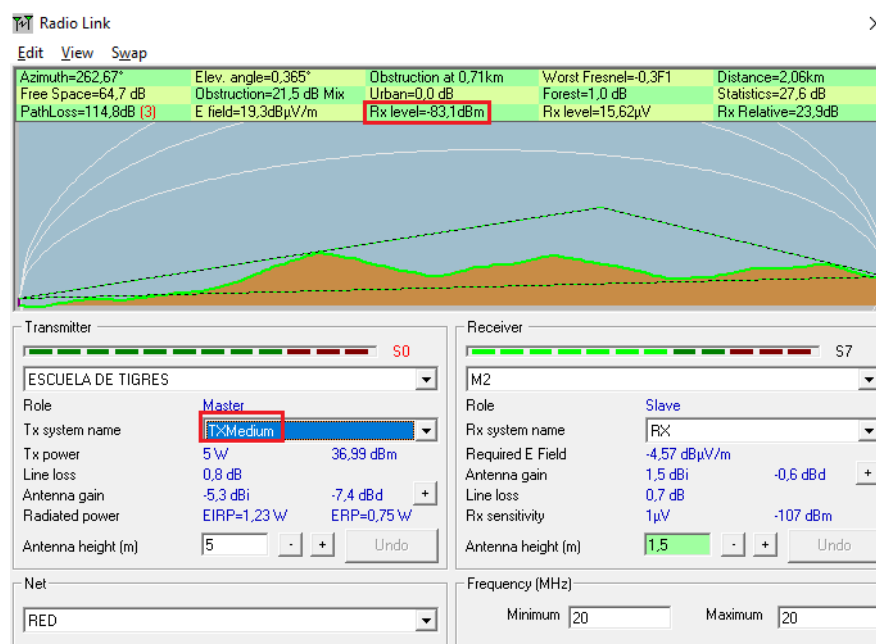


Figura 35 Simulación de radioenlace a potencia de recepción en nivel medio a distancia 2,06 Km

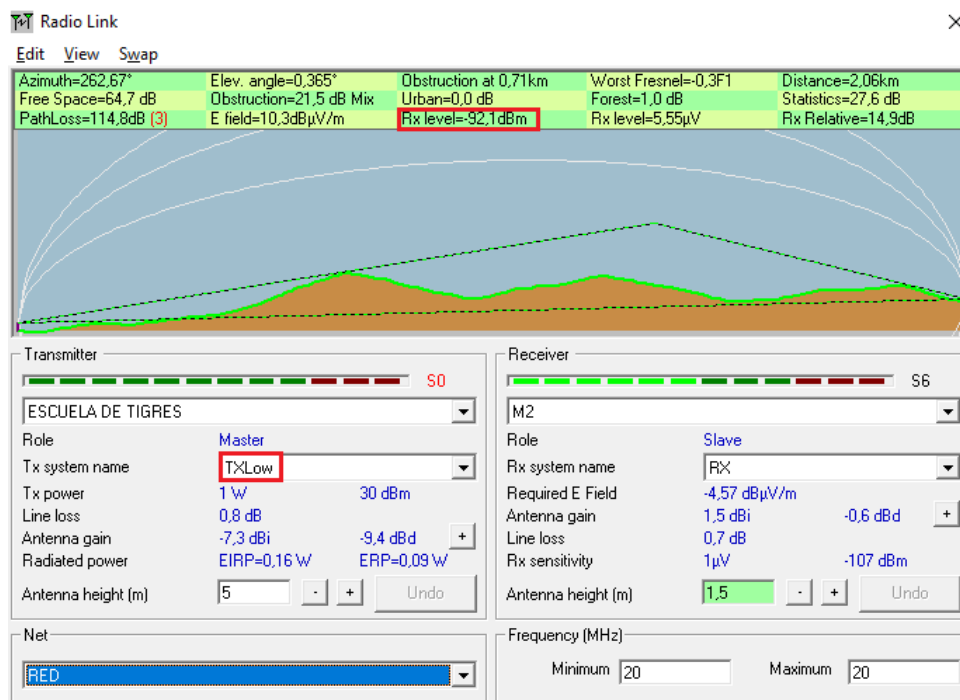


Figura 36 Simulación de radioenlace con potencia de recepción nivel bajo distancia 2,06 Km

- **Mediciones en campo para enlace a distancia M2=2060m para transmisión de potencia en nivel alto (20 Vatios), medio (5 Vatios) y bajo (1 Vatio).**

La Tabla No. 15 indica los resultados de mediciones de nivel de potencia de recepción, obtenidas a través del analizador de espectros *Anritsu Site Master*, en la que se utilizó una frecuencia central de 20 MHz a distancia de 2060 m para potencias de transmisión en nivel alto, medio y bajo.

Tabla 15.*Mediciones de campo a frecuencia de 20 MHz*

| N Numero de Muestras | Potencia [Vatios] | Distancia M2=2060[m] |
|---|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 20 | -60,1 |
| 2 | 20 | -65 |
| 3 | 20 | -70 |
| 4 | 20 | -73 |
| 5 | 20 | -76 |
| 6 | 20 | -78 |
| 7 | 5 | -78 |
| 8 | 5 | -98 |
| 9 | 5 | -86 |
| 10 | 5 | -76 |
| 11 | 5 | -100 |

| | | |
|----|---|-----|
| 12 | 5 | -77 |
| 13 | 5 | -68 |
| 14 | 5 | -75 |
| 15 | 5 | -71 |
| 16 | 5 | -74 |
| 17 | 1 | -78 |
| 18 | 1 | -76 |
| 19 | 1 | -72 |
| 20 | 1 | -71 |
| 21 | 1 | -83 |
| 22 | 1 | -91 |
| 23 | 1 | -79 |
| 24 | 1 | -78 |

4.8.2. Comprobación resultados a 25 MHz

- **Simulación de enlace a distancia M1D=1810 m para transmisión de potencia en nivel alto (20 Vatios), medio (5 Vatios) y bajo (1 Vatio) a 25 MHz.**

Las siguientes Figuras permiten observar la potencia de recepción y características del radioenlace, a través del ingreso de parámetros de transmisión con niveles de potencias en nivel alto, medio, y bajo correspondientemente.

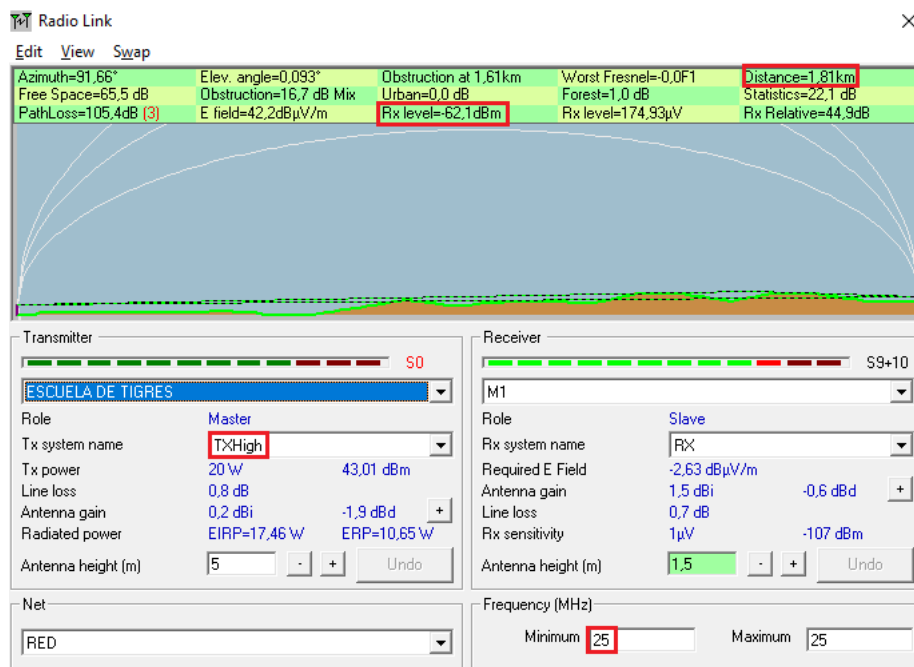


Figura 37 Simulación de radioenlace potencia de recepción nivel alto a distancia 1,81 Km

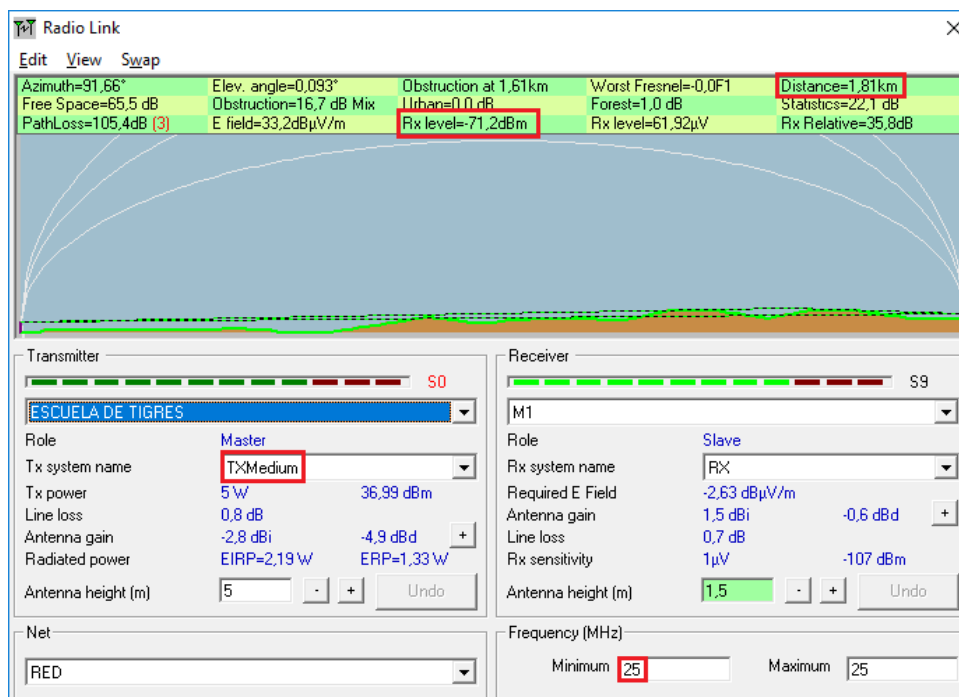


Figura 38 Simulación radioenlace de potencia de recepción en nivel medio a distancia 1,81 Km

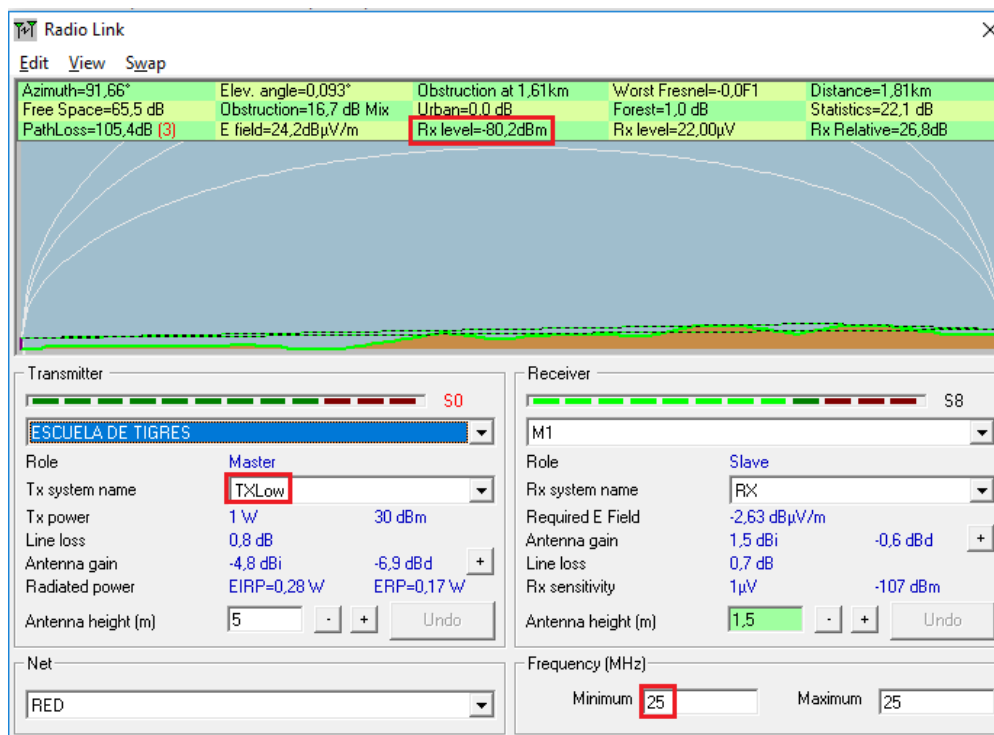


Figura 39 Simulación de radioenlace de potencia de recepción a nivel bajo a distancia 1,81 Km

- **Mediciones en campo para enlace a distancia M1D=1810m para transmisión de potencia en nivel alto (20 Vatios), medio (5 Vatios) y bajo (1 Vatio).**

La Tabla No. 16 indica los resultados de mediciones de potencia de recepción obtenidas a través del analizador de espectros *Anritsu Site Master*, utilizando una frecuencia central de 25 MHz a distancia de 1810 m para potencias de transmisión en nivel alto 20 vatios, medio 5 vatios y bajo 1 vatio respectivamente.

Tabla 16.*Mediciones de campo en la frecuencia de 25 MHz*

| N Numero de Muestras | Potencia [Wattios] | Distancia M1D=1810[m] |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | 20 | -98,2 |
| 2 | 20 | -114,32 |
| 3 | 20 | -110,68 |
| 4 | 20 | -112,14 |
| 5 | 20 | -102,59 |
| 6 | 20 | -111,9 |
| 7 | 20 | -111,82 |
| 8 | 5 | -109,93 |
| 9 | 5 | -107,29 |

| | | |
|----|---|---------|
| 10 | 5 | -111,22 |
| 11 | 5 | -102 |
| 12 | 5 | -112,54 |
| 13 | 5 | -111,53 |
| 14 | 1 | -117,24 |
| 15 | 1 | -110,2 |
| 16 | 1 | -116,89 |
| 17 | 1 | -113,4 |
| 18 | 1 | -111,54 |
| 19 | 1 | -113,23 |
| 20 | 1 | -110 |

- **Simulación de enlace a distancia J8=2610 m para transmisión de potencia en nivel medio (5 Wattios) a 25 MHz.**

La Figura No 40 permite verificar la potencia de recepción y características del radioenlace, configurando la potencia de transmisión en nivel medio.

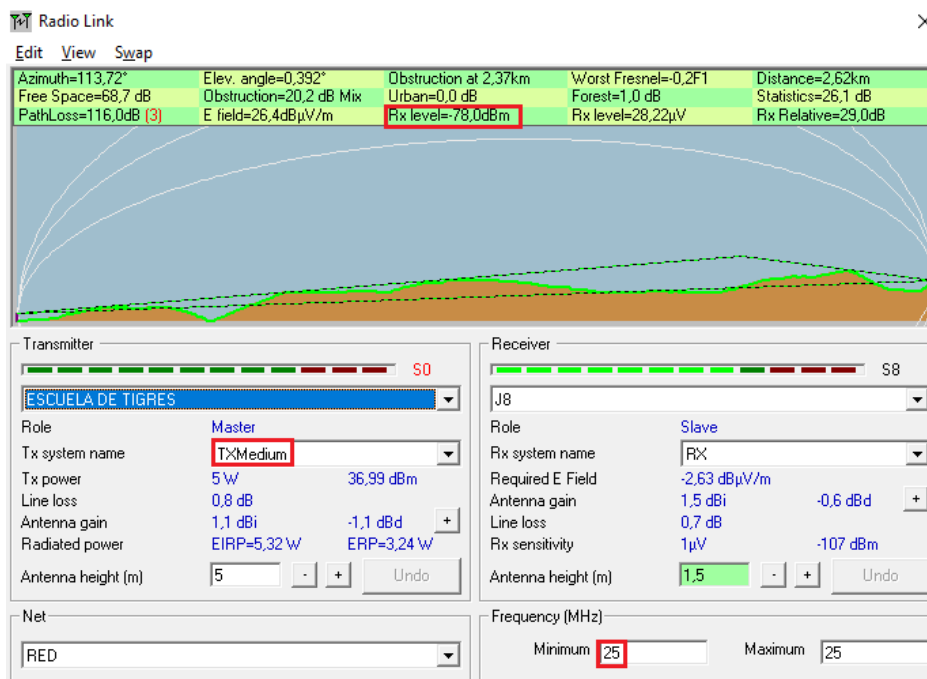


Figura 40 Simulación de potencia de recepción a nivel medio 25 MHz

- **Mediciones en campo para enlace a distancia J8=2610m para transmisión de potencia en nivel medio (5 Vatios)**

La Tabla No 17 indica los resultados de mediciones de potencia de recepción obtenidas a través del analizador de espectros *Anritsu Site Master*, utilizando una frecuencia central de 25 MHz a distancia de 2610 m para potencias de transmisión en nivel medio.

Tabla 17.
Medición en campo nivel medio 25 MHz distancia 2610 m

| N Numero de Muestras | Potencia [Vatios] | Distancia J8=2610 [m] |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | 5 | -127 |
| 2 | 5 | -129 |
| 3 | 5 | -123,3 |
| 4 | 5 | -133,43 |

| | | |
|----|---|---------|
| 5 | 5 | -130 |
| 6 | 5 | -124,62 |
| 7 | 5 | -122,85 |
| 8 | 5 | -123,97 |
| 9 | 5 | -117,6 |
| 10 | 5 | -117,4 |
| 11 | 5 | -118 |

| | | |
|----|---|---------|
| 12 | 5 | -116,8 |
| 13 | 5 | -118 |
| 14 | 5 | -117,4 |
| 15 | 5 | -135,24 |
| 16 | 5 | -117,3 |
| 17 | 5 | -126,62 |
| 18 | 5 | -113,96 |
| 19 | 5 | -149 |

| | | |
|----|---|---------|
| 20 | 5 | -151 |
| 21 | 5 | -150 |
| 22 | 5 | -149 |
| 23 | 5 | -118 |
| 24 | 5 | -117 |
| 25 | 5 | -118 |
| 26 | 5 | -146,74 |

- Simulación de enlace a distancia $J7=2860$ m para transmisión de potencia en nivel medio (5 Vatios) a 25 MHz.

La Figura No. 41 permite observar la potencia de recepción y características del radioenlace, configurando la potencia de transmisión en nivel medio.

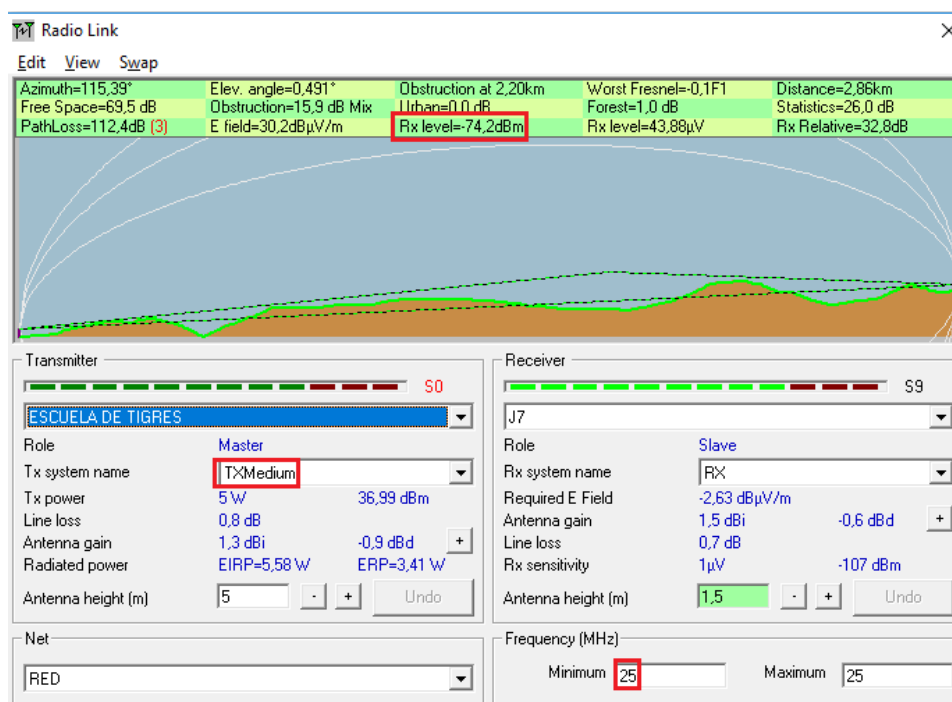


Figura 41 Simulación de potencia de recepción transmitida en nivel medio a 25 MHz

- **Mediciones en campo para enlace a distancia J7=2860m para transmisión de potencia en nivel medio (5 Vatios)**

La Tabla No 18 indica los resultados obtenidos en las mediciones de campo a través del analizador de espectros *Anritsu Site Master*, ingresando una frecuencia central de 25 MHz a distancia de 2860 m para potencias de transmisión en nivel medio.

Tabla 18.

Mediciones en campo a frecuencia de 25 MHz

| N Numero de Muestras | Potencia [Vatios] | Distancia J7=2860[m] |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1 | 5 | -106,27 |
| 2 | 5 | -106,9 |
| 3 | 5 | -107 |
| 4 | 5 | -107,4 |
| 5 | 5 | -107,9 |

| | | |
|----|---|---------|
| 6 | 5 | -113,93 |
| 7 | 5 | -121,91 |
| 8 | 5 | -104,54 |
| 9 | 5 | -106,44 |
| 10 | 5 | -110 |
| 11 | 5 | -115,5 |
| 12 | 5 | -112,26 |

- **Simulación de enlace a distancia V5=11650 m para transmisión de potencia en nivel medio (5 Vatios) y bajo (1 Vatio) a 25 MHz.**

Las siguientes Figuras permiten observar las simulaciones realizadas en *Radio Mobile* sobre la potencia de recepción y características del radioenlace establecido a través de la configuración de potencia de transmisión en nivel medio y bajo.

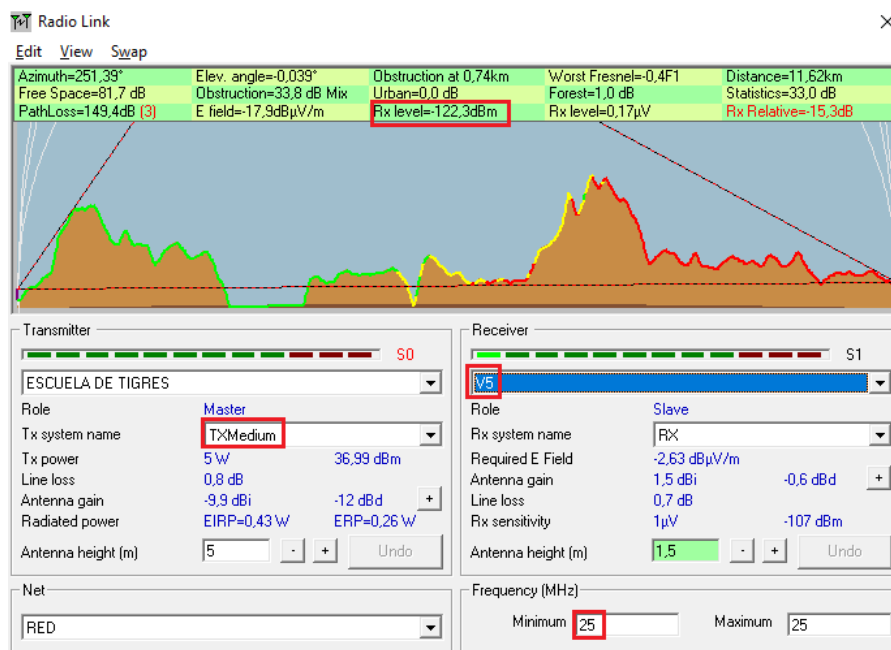


Figura 42 Simulación de potencia de recepción transmitida en nivel medio a 25 MHz

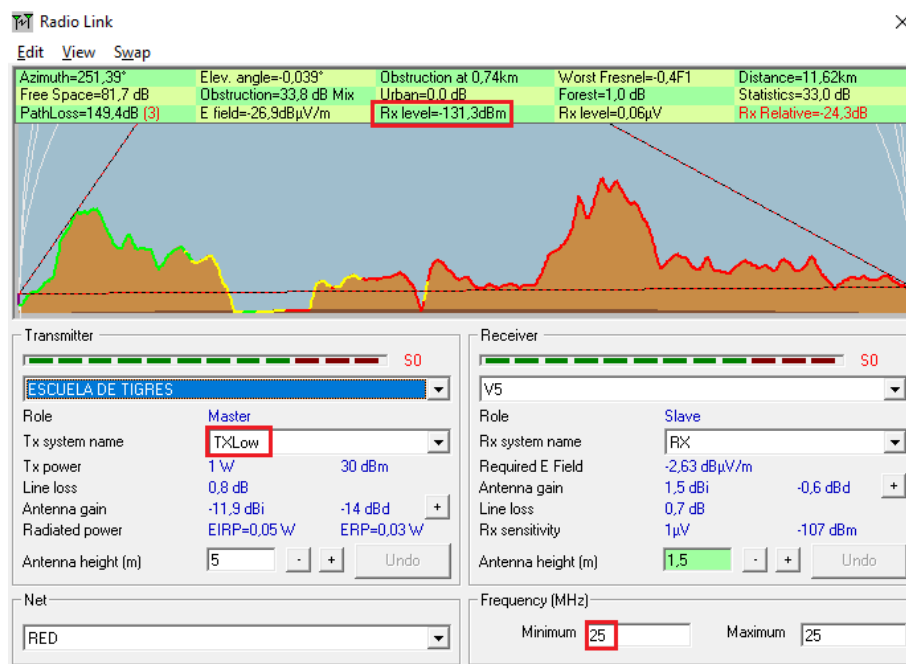


Figura 43 Simulación de potencia de recepción transmitida en nivel medio a 25 MHz

- **Mediciones en campo para enlace a distancia V5=11650 m para transmisión de potencia en nivel medio (5 Vatios) y bajo.**

La Tabla No 19 indica los resultados de las mediciones en campo de potencia de recepción obtenidas a través del analizador de espectros *Anritsu Site Master*, utilizando una frecuencia central de 25 MHz a distancia de 11650 m para potencias de transmisión en nivel medio.

Tabla 19.

Mediciones de campo a frecuencia de 25 MHz

| N Numero de Muestras | Potencia [Vatios] | Distancia V5=11650[m] |
|-------------------------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | 5 | -112,92 |
| 2 | 5 | -110,91 |
| 3 | 5 | -112,36 |

| | | |
|---|---|---------|
| 4 | 5 | -111,3 |
| 5 | 5 | -144 |
| 6 | 1 | -146,26 |
| 7 | 1 | -147,1 |
| 8 | 1 | -140 |

4.8.3. Comprobación resultados a 30 MHz

- **Simulación de enlace a distancia V2=2400 m para transmisión de potencia en nivel alto (20 Vatios) a 30 MHz.**

Las siguientes figuras permiten observar la potencia de recepción y características del radioenlace, ingresando la potencia de transmisión en nivel alto es decir 20 vatios.

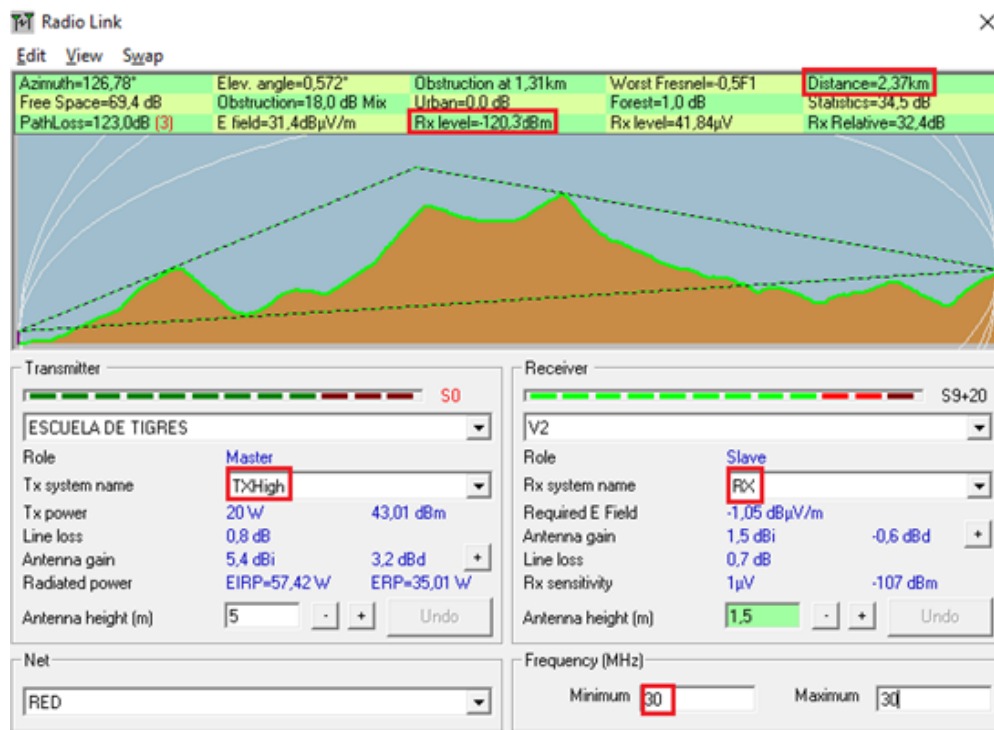


Figura 44 Simulación de potencia de recepción en nivel alto a 30 MHz

- **Mediciones en campo para enlace a distancia V2=9950 m para transmisión de potencia en nivel alto (20 Vatios).**

La Tabla No 20 indica los resultados de las mediciones de potencia de recepción obtenidas a través del analizador de espectros *Anritsu Site Master*, utilizando una frecuencia central de 30 MHz a distancia de 9950 m para potencias de transmisión en nivel alto.

Tabla 20.

Mediciones en campo a frecuencia de 30 MHz

| Potencia [Vatios] | Distancia V2=9950[m] |
|-------------------|----------------------|
| 20 | -122,3 |
| 20 | -121,71 |
| 20 | -120,8 |

| | |
|----|--------|
| 20 | -124 |
| 20 | -123 |
| 20 | -119,9 |

4.9. Aplicación estadística inferencial para el cálculo del tamaño muestral

A través de la técnica de muestro por cuotas se dividirá la población de estudio en estratos de diferentes subgrupos, la elección de los sujetos en cada estrato se realiza a criterio del investigador. La característica para definir cada estrato es la potencia y la distancia estableciendo un error de 1 a 6% para cada estrato, bajo un criterio aleatorio.

Se definirá el nivel de confianza a través del cálculo de probabilidad de éxito o fracaso de los valores medidos en cada punto de recepción. Se considerará probabilidad de éxito si la potencia de recepción es aceptable es decir tomando en cuenta el nivel de colores del software *Radio Mobile* basado en el modelo de propagación *Longley Rice*, la potencia es aceptable si el rango es de -60 dBm a -105 dBm, y se considerará probabilidad de fracaso si la potencia está en el rango de -114 dBm a -150 dBm como se explica en la siguiente Figura.

| Signal dBm | Color | |
|------------|---|----|
| < -107 |  | 1 |
| -150 |  | 2 |
| -141 |  | 3 |
| -132 |  | 4 |
| -123 |  | 5 |
| -114 |  | 6 |
| -105 |  | 7 |
| -96 |  | 8 |
| -87 |  | 9 |
| -78 |  | 10 |
| -69 |  | 11 |
| -60 |  | 12 |

Probabilidad de Fracaso
Potencia no Aceptable

Probabilidad de Éxito
Potencia Aceptable

Figura 45 Análisis de potencia de recepción con probabilidad de éxito y fracaso

El nivel de confianza se seleccionará de acuerdo con la probabilidad de fracaso, es decir si la probabilidad de fracaso es baja en el rango de 0 a 25%, quiere decir que la probabilidad de éxito o potencia aceptable será de 75%, por tanto, el nivel de confianza que se tomará debe ser bajo, ya

que existe una gran posibilidad de éxito. La siguiente tabla indica el porcentaje de confianza que se tomará de acuerdo con la probabilidad de fracaso.

Tabla 21.

Niveles de confianza para diferentes probabilidades de fracaso

| | | | | |
|---|-----|------|------|------|
| P → probabilidad fracaso o potencia no aceptable | 25% | 50% | 75% | 100% |
| nivel de confianza | 68% | 80% | 95% | 99% |
| k | 1 | 1,28 | 1,96 | 2,58 |

4.9.1. Fórmulas para el cálculo de medidas de tendencia central y dispersión

Para el cálculo del tamaño de la muestra se utiliza variables cualitativas en estimación de proporciones es decir el porcentaje de medidas que cumplen, ya sea con valores aceptables o no aceptables sobre la muestra realizada. El valor que se calcule en la muestra será el más probable para nuestro universo y a medida que nos alejamos este valor, será menos probable. Para la estimación de una proporción se utiliza la siguiente fórmula:

$$n = \frac{z^2 * p * (p - 1)}{e^2}, \quad (17)$$

Para el cálculo de la muestra se utiliza una fórmula extendida orientada a datos globales desconociendo el tamaño total de la población y estimando un nivel de confianza elegido.

$$n = \frac{z^2 pq}{e^2}, \quad (13)$$

dónde:

n → número de muestras obtenidas,

z → nivel de confianza,

p → probabilidad de fracaso,

q → probabilidad de acierto,

e → marge de error.

4.9.2. Tamaño muestral para la frecuencia de 20 MHz

4.9.2.1. Tamaño muestral para estimación de la población a distancia M1=1810 m

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de campo, para una distancia 1810 m a frecuencia de 20 MHz, la probabilidad de fracaso obtenida de 20 medidas son las siguientes:

Tabla 22.

Porcentaje muestras de 1810 m a 20 MHz

| TOTAL Muestras a 1810 m 20 MHz | Muestras aceptables > -87 dBm | Muestras no aceptables < -87 dBm |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 20 | 19 | 1 |
| 100% | 95% | 5% |

De acuerdo con la Tabla No 22, los niveles de confianza para una probabilidad de fracaso del 6 % es del 68%., Por tanto, mediante estadística inferencial se determinó el tamaño muestral para una población desconocida en función del error máximo, cuyos parámetros se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 23.

Resultados obtenidos del tamaño de la muestra a 20 MHz

| | |
|--|-----------|
| Distancia punto central al punto M1 [m] | 1810 |
| Frecuencia Central [MHz] | 20 |
| Cantidad medidas para análisis de probabilidad | 20 |
| p probabilidad de fracaso | 0,05 |
| q probabilidad de acierto | 0,95 |
| intervalo de confianza | 68% |
| Error muestral | 0,06 |
| Z | 1 |
| n TAMAÑO DE LA MUESTRA | 13 |

La siguiente gráfica permite analizar la variación de la potencia de recepción en la distancia de 1810 m y la desviación de mediciones.

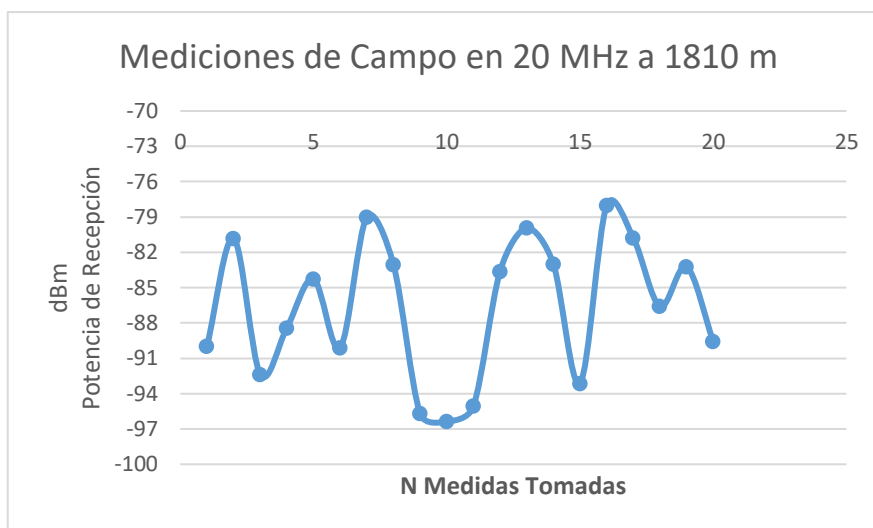


Figura 46 Mediciones de Potencias de Recepción a 20 MHz 1,8 Km

4.9.2.2. Tamaño muestral para la estimación poblacional a distancia M2=2060 m

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de campo para una distancia 2060 m a frecuencia de 20 MHz, la probabilidad de fracaso obtenida de 24 muestras medidas son las siguientes:

Tabla 24.

Resultados de probabilidad de muestras medidas

| TOTAL Muestras a 2060 m 20 MHz | Muestras aceptables > -87 dBm | Muestras no aceptables < -87 dBm |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 24 | 24 | 0 |
| 100% | 100% | 0% |

De acuerdo con la Tabla No 21 los niveles de confianza para una probabilidad de fracaso del 0% es del 68%, debido a que el total de las medidas se encuentran en el rango aceptable, la probabilidad de que exista una falla en la toma de muestras es casi ínfima, por tanto, el intervalo de confianza es el mínimo. mediante estadística inferencial se determinó el tamaño muestral para una población desconocida en función del error máximo, cuyos parámetros se muestran en la Tabla No 25. Debido a que las mediciones correspondientes a este estrato representan mediciones

aceptables se tomó en cuenta la probabilidad de fracaso en 0,001%, por ende, la probabilidad de acierto es igual a 99,99%.

Tabla 25.

Resultados obtenidos del tamaño de la muestra con distancia 2060 m

| | |
|--|----------|
| Distancia punto central a punto M2 [m] | 2060 |
| Frecuencia Central [MHz] | 20 |
| Cantidad medidas para análisis de probabilidad | 24 |
| p probabilidad de fracaso | 0,01 |
| q probabilidad de acierto | 0,99 |
| intervalo de confianza | 68% |
| Error muestral | 0,06 |
| Z | 1 |
| n TAMAÑO DE LA MUESTRA | 3 |

La siguiente figura permite analizar la dispersión de la potencia de recepción y cantidad de muestras en la distancia de 2060 m a 20 MHz.

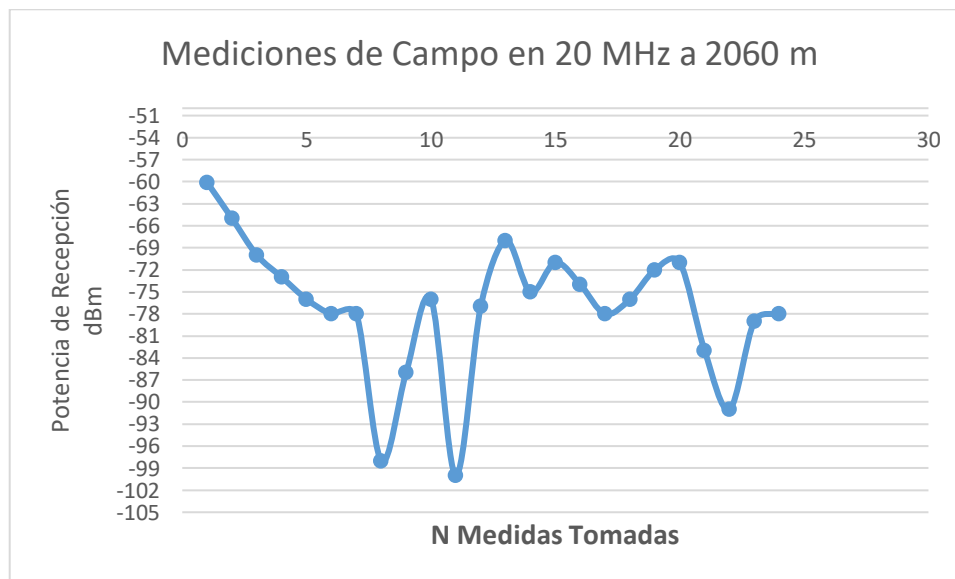


Figura 47 Análisis de potencia de recepción a 2060 m

4.9.2.3. Resumen tamaño muestral para estimación a 20MHz

La siguiente Figura indica el tamaño muestral requerido para expresar un número de mediciones que se realizarán en el campo a una frecuencia central de 20 MHz.

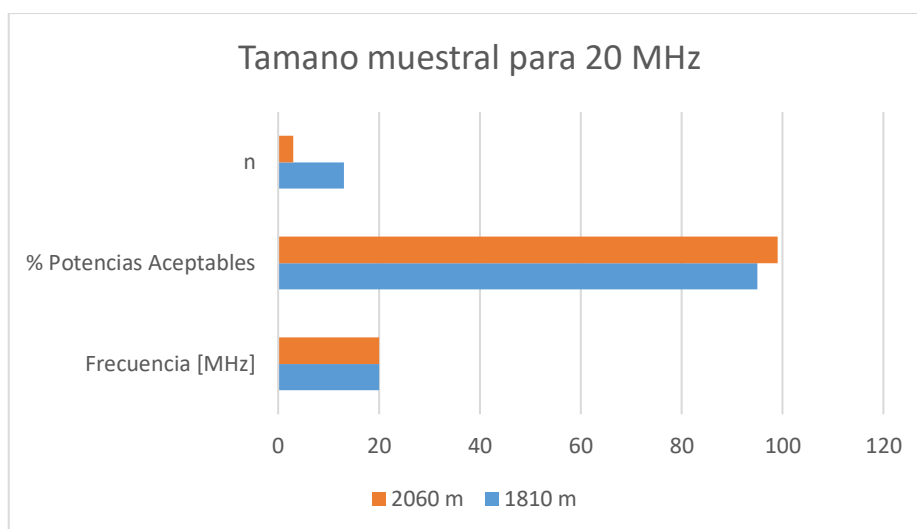


Figura 48 Representación del número de muestras requeridas para 20 MHz

4.9.3. Tamaño muestral para la frecuencia de 25 MHz

4.9.3.1. Tamaño muestral para estimación de la población a distancia M1=1810 m

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de campo para una distancia 1810 m a frecuencia de 25 MHz, la probabilidad de fracaso obtenida de 24 muestras medidas son las siguientes:

Tabla 26.

Resultados obtenidos del tamaño de la muestra con distancia 1810 m

| TOTAL Muestras a 1810 m 25 MHz | Muestras aceptables > -105 dBm | Muestras no aceptables < -105 dBm |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 24 | 2 | 22 |
| 100% | 8,3% | 91,7% |

De acuerdo con la Tabla No 21 los niveles de confianza para una probabilidad de fracaso del 91,7 % es del 99% debido a que los valores no aceptables son numerosos, se debe realizar un

control exhaustivo para el estrato de medidas. Mediante estadística inferencial se determinó el tamaño muestral para una población desconocida en función del error máximo, cuyos parámetros se muestran en la Tabla No 27.

Tabla 27.

Resultados correspondientes a la cantidad de muestras de 1810 m

| | |
|--|------------|
| Distancia Escuela Tigres a punto M1 [m] | 1810 |
| Frecuencia Central [MHz] | 25 |
| Cantidad medidas para análisis de probabilidad | 24 |
| p probabilidad de fracaso | 0,917 |
| q probabilidad de acierto | 0,083 |
| intervalo de confianza | 99% |
| Error muestral | 0,06 |
| Z | 2,58 |
| n TAMAÑO DE LA MUESTRA | 142 |

La siguiente figura permite analizar la variación de la potencia de recepción en la distancia de 1810 m y su tamaño muestral.

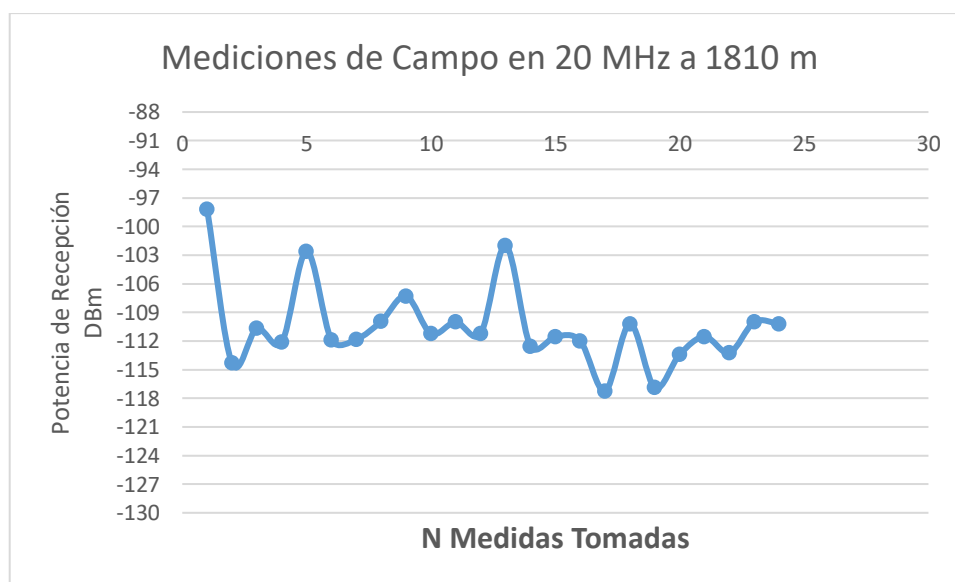


Figura 49 Mediciones de campo a 1810 m

4.9.3.2. Tamaño muestral para estimación de la medida de población a distancia J8=2610 m

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de campo para una distancia 2610 m a frecuencia de 25 MHz, la probabilidad de fracaso obtenida de 26 muestras medidas son las siguientes:

Tabla 28.

Análisis porcentual de medidas aceptables y no aceptables

| TOTAL Medidas a 2610 m 25 MHz | Medidas aceptables > -105 dBm | Medidas no aceptables < -105 dBm |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 26 | 0 | 26 |
| 100% | 0% | 100% |

De acuerdo con la Tabla No 21 los niveles de confianza para una probabilidad de fracaso del 100% es del 99% debido a que los valores no aceptables son todos. Mediante estadística inferencial se determinó el tamaño muestral para una población desconocida en función del error máximo, cuyos parámetros se muestran en la Tabla No 29.

Tabla 29.

Resultados obtenidos de la cantidad de muestras para 2610 m

| | |
|--|-------------|
| Distancia Escuela Tigres a punto J8 [m] | 2610 |
| Frecuencia Central [MHz] | 25 |
| Cantidad medidas para análisis de probabilidad | 26 |
| p probabilidad de fracaso | 0,99 |
| q probabilidad de acierto | 0,01 |
| intervalo de confianza | 99% |
| Error muestral | 0,01 |
| Z | 2,58 |
| n TAMAÑO DE LA MUESTRA | 1305 |

La siguiente figura permite analizar la variación de la potencia de recepción en la distancia de 1810 m y su desviación.

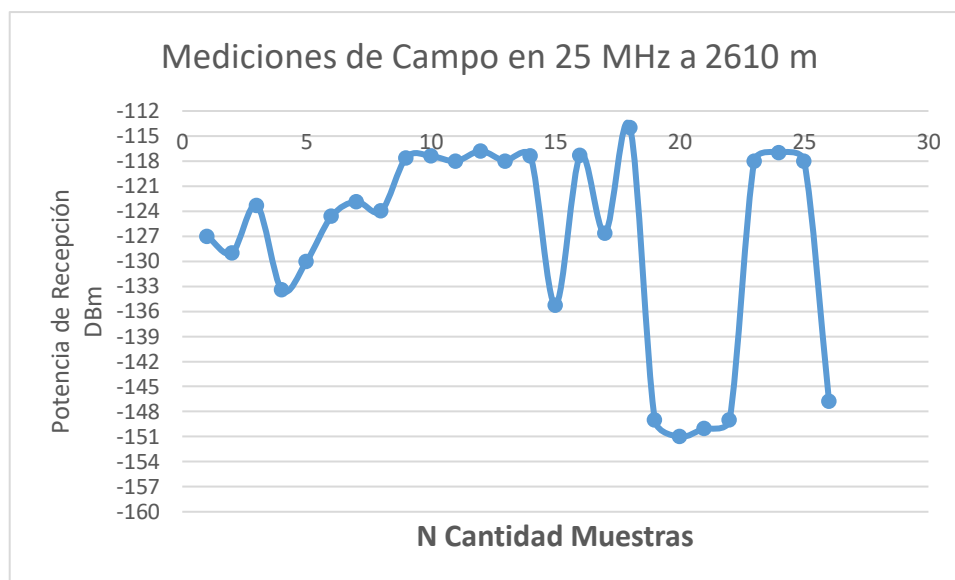


Figura 50 Análisis de Mediciones de campo a 2610 m

4.9.3.3. Tamaño muestral para estimación de la medida de población distancia J7=2860 m

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de campo para una distancia 2860 m a frecuencia de 25 MHz, la probabilidad de fracaso obtenida de 16 muestras medidas son las siguientes:

Tabla 30.

Análisis porcentual de medidas aceptables y no aceptables para 2860 m

| TOTAL Medidas a 2860 m 25 MHz | Medidas aceptables > -105 dBm | Medidas no aceptables < -105 dBm |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 26 | 2 | 24 |
| 100% | 12,5% | 87,5% |

De acuerdo con la Tabla No 22 los niveles de confianza para una probabilidad de fracaso del 87,5 % es del 99% debido a que los valores no aceptables son numerosos, y se debe realizar un control exhaustivo para el estrato de medidas. Mediante estadística inferencial se determinó el tamaño muestral para una población desconocida en función del error máximo, cuyos parámetros se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 31.

Análisis de resultados de cantidad de muestras determinadas para 2860 m

| | |
|--|------------|
| Distancia Escuela Tigres a punto J7 [m] | 2860 |
| Frecuencia Central [MHz] | 25 |
| Cantidad medidas para análisis de probabilidad | 16 |
| p probabilidad de fracaso | 0,875 |
| q probabilidad de acierto | 0,125 |
| intervalo de confianza | 99% |
| Error muestral | 0,06 |
| Z | 2,58 |
| n TAMAÑO DE LA MUESTRA | 202 |

La siguiente figura permite analizar la variación de la potencia de recepción en la distancia de 2860 m y su tamaño muestral.

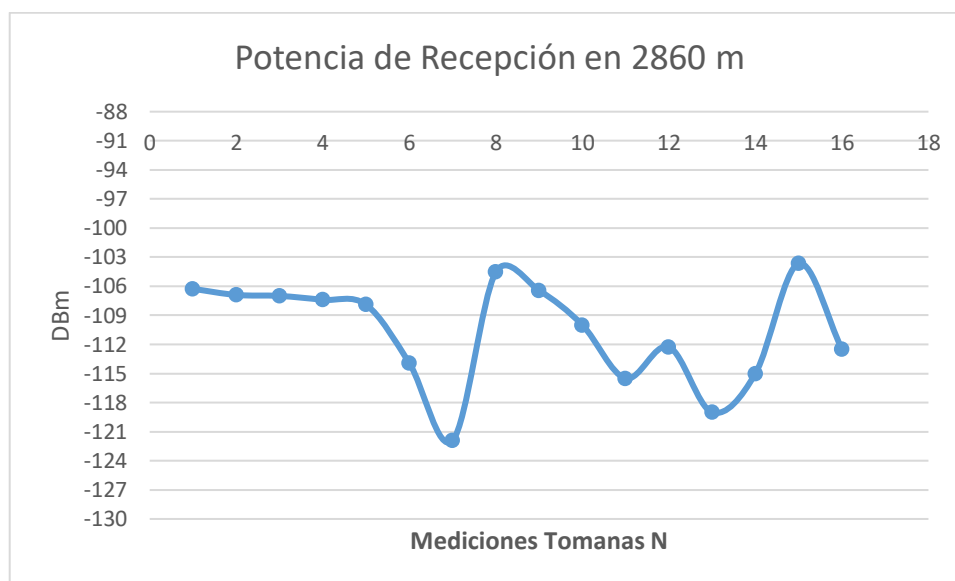


Figura 51 Análisis de mediciones de potencia de recepción

4.9.3.4. Tamaño muestral para estimación de la medida de población a distancia V5=11650 m

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de campo para una distancia 11650 m a frecuencia de 25 MHz, la probabilidad de fracaso obtenida de 8 muestras medidas son las siguientes:

Tabla 32.

Análisis porcentual de medidas aceptables y no aceptables para 11650 m

| TOTAL Medidas a 11650 m 25 MHz | Medidas aceptables > -105 dBm | Medidas no aceptables < -105 dBm |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 8 | 0 | 8 |
| 100% | 0% | 100% |

De acuerdo con la Tabla No 21 los niveles de confianza para una probabilidad de fracaso del 100 % es del 99% debido a que los valores no aceptables son todos, se debe realizar un control total para el estrato de medidas. Mediante estadística inferencial se determinó el tamaño muestral para una población desconocida en función del error máximo, cuyos parámetros se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 33.

Resultados de cantidad de muestras determinadas para 11650 m

| | |
|--|-------------|
| Distancia Escuela Tigres a punto V5 [m] | 11650 |
| Frecuencia Central [MHz] | 25 |
| Cantidad medidas para análisis de probabilidad | 8 |
| p probabilidad de fracaso | 0,99 |
| q probabilidad de acierto | 0,01 |
| intervalo de confianza | 99% |
| Error muestral | 0,01 |
| Z | 2,58 |
| n TAMAÑO DE LA MUESTRA | 1305 |

La siguiente figura permite analizar la variación de la potencia de recepción en la distancia de 11650 m y su desviación.

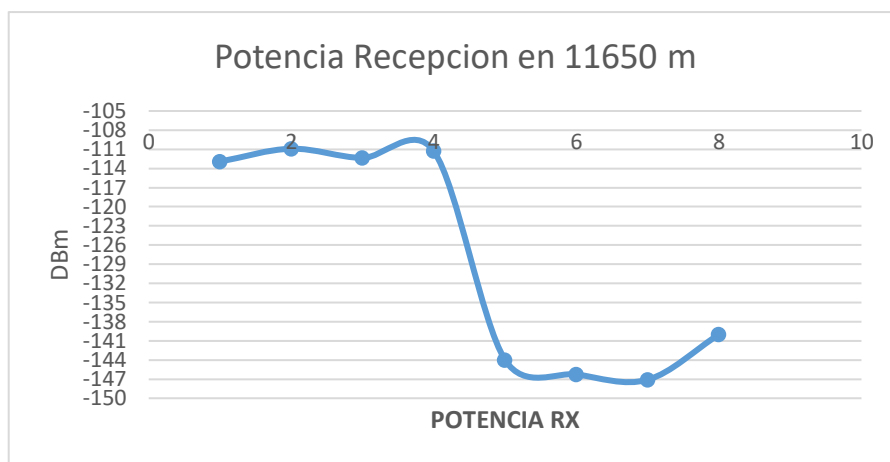


Figura 52 Análisis de mediciones de potencia de recepción

4.9.3.5. Resumen tamaño muestral para estimación de media poblacional a 25 MHZ

La siguiente Figura indica el tamaño muestral requerido para expresar un número de mediciones que se realizaran en el campo a 25 MHz

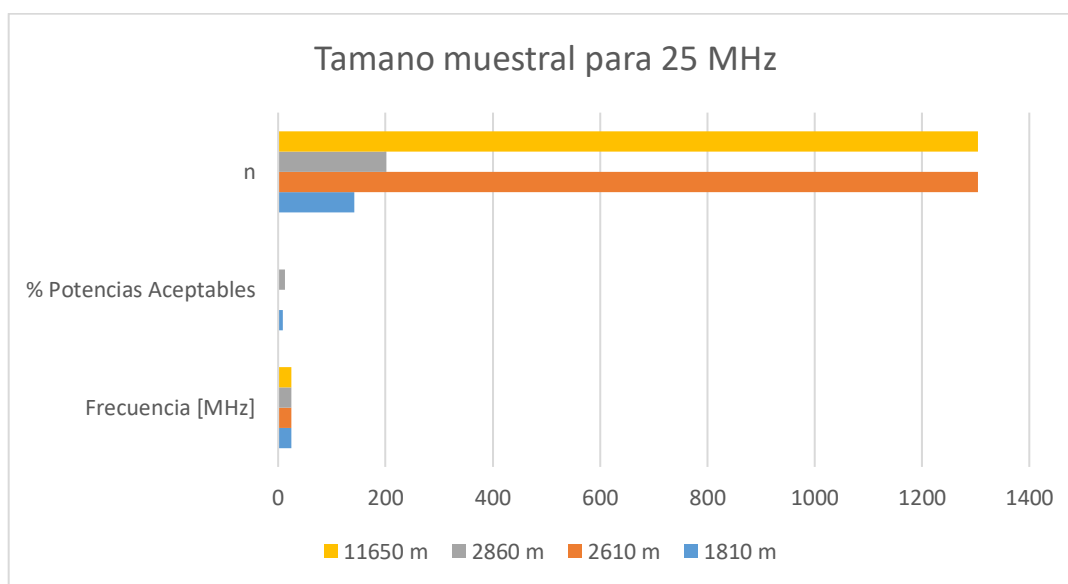


Figura 53 Número de muestras requeridas para 25 MHz

4.9.4. Tamaño muestral para la frecuencia de 30 MHz

4.9.4.1. Tamaño muestral para estimación de la medida de población a distancia

V2=9950 m

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de campo para una distancia 9950 m a frecuencia de 30 MHz, la probabilidad de fracaso obtenida de 8 muestras medidas son las siguientes:

Tabla 34.

Análisis porcentual de muestras obtenidas a 2400 m

| TOTAL Muestras a 2400 m 25 MHz | Muestras aceptables > -105 dBm | Muestras no aceptables < -105 dBm |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 6 | 0 | 6 |
| 100% | 0% | 100% |

Mediante estadística inferencial se determinó el tamaño muestral para una población desconocida en función del error máximo, cuyos parámetros se muestran en la siguiente Tabla:

Tabla 35.

Resultados correspondientes a la cantidad de muestras determinadas para 9950 m

| | |
|--|-------------|
| Distancia Escuela Tigres a punto V2 [m] | 9950 |
| Frecuencia Central [MHz] | 30 |
| Cantidad medidas para análisis de probabilidad | 6 |
| p probabilidad de fracaso | 0,99 |
| q probabilidad de acierto | 0,01 |
| intervalo de confianza | 99% |
| Error muestral | 0,01 |
| Z | 2,58 |
| n TAMAÑO DE LA MUESTRA | 1305 |

La siguiente figura permiten analizar la variación de la potencia de recepción en la distancia de 9950 m y su tamaño muestral.

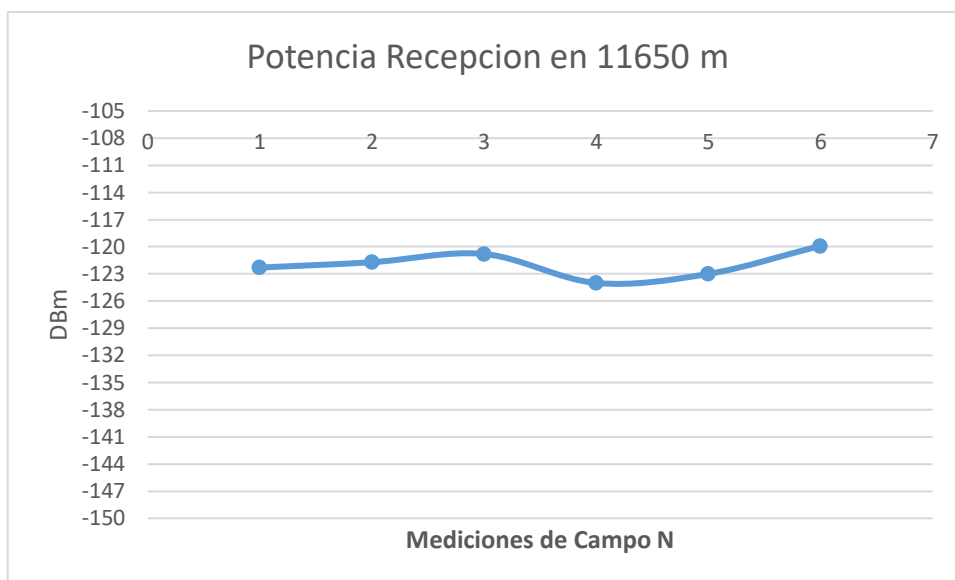


Figura 54 Potencia de recepción para mediciones de campo

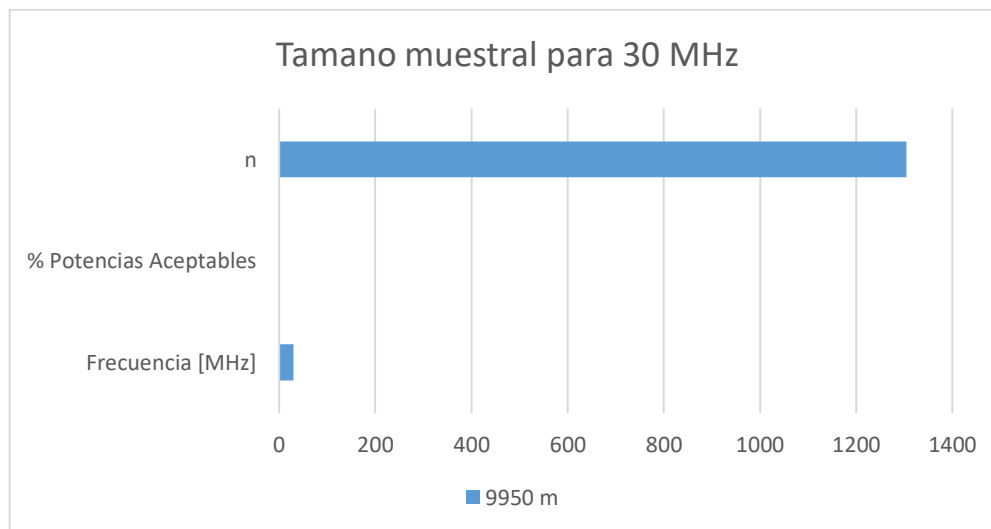


Figura 55 Número de muestras requeridas para 30 MHz

4.10. Tabla resumen

En la siguiente Tabla se indican un resumen total de las medidas tomadas tanto en software como en campo juntamente con su promedio y tamaño muestral.

Tabla 36.*Resumen total del tamaño muestral*

| Frecuencia [MHz] | Distancia [m] | Potencia de Transmisión [Wattios] | Potencia Simulada [dBm] | Promedio \bar{u} Potencia de Recepción Medida [dBm] | Tamaño Muestral | Nombre |
|------------------|---------------|-----------------------------------|-------------------------|---|-----------------|--------|
| 20 | 1810 | 5 | -68,2 | -85,8215 | 13 | M1 |
| 20 | 1810 | 1 | -77,2 | | | |
| 20 | 2060 | 20 | -74,1 | -77,21 | 3 | M2 |
| 20 | 2060 | 5 | -83,1 | | | |
| 20 | 2060 | 1 | -92,1 | | | |
| 25 | 1810 | 20 | -62,1 | -110,5 | 142 | M1D |
| 25 | 1810 | 5 | -71,2 | | | |
| 25 | 1810 | 1 | -80,2 | | | |
| 25 | 2610 | 5 | -78 | -127,353 | 1305 | J8 |
| 25 | 2860 | 5 | -74,2 | -110,63 | 202 | J7 |
| 25 | 11650 | 5 | -122,3 | -128,1 | 1305 | V5 |
| 25 | 11650 | 1 | -131,3 | | | |
| 30 | 9950 | 20 | -120 | -121,95 | 1305 | V2 |

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Comparación entre potencia de recepción y tamaño muestral

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede verificar que, mientras mayor sea el nivel de la potencia de recepción, menor es la cantidad de muestras que se requiere tomar en el campo.

Tabla 37.

Comparación de medida de potencia de recepción y tamaño muestral

| Promedio \bar{u} Potencia de Recepción Medida [dBm] | Tamaño Muestral | Nombre |
|---|-----------------|--------|
| -85,8215 | 13 | M1 |
| -77,21 | 3 | M2 |
| -110,5 | 142 | M1D |
| -127,353 | 1305 | J8 |
| -110,63 | 202 | J7 |
| -128,1 | 1305 | V5 |
| -121,95 | 1305 | V2 |

En la Tabla No 37 se puede observar que el menor número de muestras requerida corresponde al punto M2 con un total de 3 muestras, cuyo porcentaje de aceptación es del 100%, lo cual significa que todos los valores de potencia de recepción fueron admisibles para una correcta recepción. Por otro lado, los puntos con mayor cantidad de muestras requeridas son el punto J8, V5 y V2 con una cifra de 1305 muestras en el que se puede verificar que su porcentaje de potencias de recepción no admisibles son del 99% esto indica que no existió al menos una potencia correctamente aceptada, por tanto, su número representa un valor muy difícil de experimentar en el campo.

5.2. Comparación entre distancia y potencia de recepción

De acuerdo con la Tabla de resultados se puede analizar que las distancias en las que se tomaron las medidas de recepción, no son directamente proporcionales a la potencia como se indica en la Tabla No 38.

Tabla 38.*Comparación distancia y potencia de recepción*

| Distancia | Tamaño Muestral | Nombre |
|-----------|-----------------|--------|
| 1810 | 13 | M1 |
| 2060 | 3 | M2 |
| 1810 | 142 | M1D |
| 2610 | 1305 | J8 |
| 2860 | 202 | J7 |
| 11650 | 1305 | V5 |
| 2400 | 1305 | V2 |

En el punto M1D la distancia de 1810 m se calcula una cantidad de muestras de 142 mientras que, a la misma distancia, pero diferente ángulo de orientación como el punto M1 la cantidad de muestras es mucho menor considerando en un 95% el porcentaje de muestras aceptables con un total de 13 muestras requeridas.

Es importante considerar que el ultimo día en el que se tomaron las medidas de potencia de recepción, la posición de los dipolos en el equipo de transmisión fue colocada de manera diferente a los días anteriores; por tanto, el patrón de radiación cambia su dirección. Los cálculos realizados tienen un tamaño muestral de 1305, representados por las siglas V5 y V2 de acuerdo con la Tabla No 38.

5.3. Análisis del error porcentual

La variación de la potencia de recepción medida en el campo con la potencia de recepción simulada varia en menos de 15 dBm en los puntos M1, M2 V5, V2 con excepción en el punto M1D, J8, J7 indicados en la Tabla No 39, en el cual la potencia simulada varia en más de 30 dBm, sin embargo, se puede observar que en los demás valores de potencia de recepción, el modelo de propagación *Longley Rice* se adapta con bajos porcentajes de errores de 15, 7, 1 y 1.5 % como se indican en la siguiente Tabla:

Tabla 39.*Resumen error porcentual*

| Potencia Simulada [dBm] | Promedio \bar{u} Potencia de Recepción Simulada [dBm] | Promedio \bar{u} Potencia de Recepción Medida [dBm] | Error % | Nombre |
|-------------------------|---|---|------------|--------|
| -68,2 | -72,7 | -85,8215 | 15,2892923 | M1 |
| -77,2 | | | | |
| -74,1 | -83,1 | -77,21 | 7,62854553 | M2 |
| -83,1 | | | | |
| -92,1 | | | | |
| -62,1 | -71,17 | -110,5 | 35,5927602 | M1D |
| -71,2 | | | | |
| -80,2 | | | | |
| -78 | -78 | -127,353 | 38,7529151 | J8 |
| -74,2 | -74,2 | -110,63 | 32,9295851 | J7 |
| -122,3 | -126,8 | -128,1 | 1,01483216 | V5 |
| -131,3 | | | | |
| -120 | -120 | -121,95 | 1,59901599 | V2 |

Se puede verificar que, mientras incrementa la frecuencia de transmisión, disminuye la potencia de recepción. De acuerdo con las medidas obtenidas en el campo se verificó que a frecuencia de 30 MHz y potencia de transmisión de 20 Vatios la potencia de recepción se encuentra en el nivel de recepción de -120 dBm, mientras que a 20 Vatios en 20 MHz la potencia de recepción es de -74,1dBm indiferentemente de la distancia.

5.4. Medición eficiencia del modelo de propagación Longley Rice

De acuerdo con modelo de propagación *Longley-Rice* los parámetros requeridos para el cálculo de propagación en comparación con los parámetros utilizados en el proyecto se presentan en la siguiente Tabla con el fin de cumplir los requerimientos del modelo.

Tabla 40.*Desempeño del modelo de propagación Longley Rice*

| Parámetros | Trabajo de Investigación | Longley Rice |
|---|--------------------------|--|
| Frecuencia [MHz] | 20,25,30,40 | 20-20000 |
| Distancia [Km] | 1-111 | 1-20000 |
| Altura antenas [m] | 0.5, 5 | 1.5-3000 |
| Polarización | Vertical | Horizontal o Vertical |
| Refractividad de la superficie [unidades] | 250 | 250-400 |
| Clima | Ecuatorial | Ecuatorial, Continental Subtropical, Marítimo Subtropical, Desértico, Continental Templado, Marítimo Templado sobre tierra y Marítimo templado oceánico. |

5.5. Medidores de cobertura

Los niveles de cobertura se establecieron en base a los medidores S . La sección verde corresponde a una unidad $-S$ y cada sección roja equivale a 10 dBs adicionales sobre $S9$, considerando M el margen de *fading* de señal como se indica en la siguiente lista:

Frecuencias < 30 MHz:

- S0 ($M \leq -3$ dB)
- S1 ($M > -3$ dB y $M = 3$ dB y $M \leq 9$ dB)
- S3 ($M > 9$ dB y $M < 15$ dB)
- S4 ($M \geq 15$ dB y $M \leq 21$ dB)
- S5 ($M > 21$ dB y $M < 27$ dB)
- S6 ($M \geq 27$ dB y $M \leq 33$ dB)
- S7 ($M > 33$ dB y $M < 39$ dB)
- S8 ($M \geq 39$ dB y $M \leq 45$ dB)
- S9 ($M > 45$ dB y $M < 54$ dB)
- S9 + 10 ($M \geq 54$ dB y $M < 63$ dB)
- S9 + 20 ($M \geq 63$ dB y $M < 73$ dB)
- S9 + 30 ($M \geq 73$ dB y $M < 83$ dB)

5.6. Análisis margen de error en el tamaño muestral

Los resultados obtenidos en la Tabla No 38 refleja el tamaño muestral con el 5% y 6%, sin embargo, el error máximo admisible es de 9% por tanto se ha realizado el cálculo para un error del 1% al 6%, para verificar la cantidad de muestras necesarias para obtener una mayor eficiencia de resultados.

Tabla 41.

Margen de error en el tamaño muestral

| Nombre | Probabilidad de Fracaso | Tamaño Muestral Error 6% | Tamaño Muestral Error 5% | Tamaño Muestral Error 3% | Tamaño Muestral Error 1% |
|--------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| M1 | 0,05 | 13 | 19 | 52 | 475 |
| M2 | 0,01 | 3 | 4 | 11 | 99 |
| M1D | 0,917 | 142 | 203 | 562 | 5066 |
| J8 | 0,99 | 1305 | 1610 | 2038 | 2662 |
| J7 | 0,875 | 202 | 291 | 808 | 7280 |
| V5 | 0,99 | 1305 | 1610 | 2038 | 2662 |
| V2 | 0,99 | 1305 | 1610 | 2038 | 2662 |

5.7. Análisis Nivel de cobertura

De acuerdo con el promedio de potencia recepción medido en cada punto, el límite máximo para cada nivel de cobertura se compara a través del software de enlace radioeléctrico *Radiomobile* cuyo margen de *fading* de la señal es identificado con un color diferente, con el fin de indicar los enlaces que fueron aceptados y los enlaces que no fueron aceptados. En la Tabla No. 42 se puede observar el valor del límite máximo de cada promedio de potencia de recepción medida en el campo.

Tabla 42
Indicadores del Nivel de Cobertura

| Promedio \bar{u} Potencia de Recepción Medida [dBm] | Límite máximo para cada nivel de la señal de cobertura | Nivel |
|--|---|-------|
| -86 | >-87 | 9 |
| -77 | >-78 | 10 |
| -110,5 | >-114 | 6 |
| -127,3 | >-132 | 4 |
| -110,6 | >-114 | 6 |
| -128,1 | >-132 | 4 |
| -121,95 | >-123 | 5 |

Los niveles cuyos valores se encuentran en el rango de 7 a 10 son considerados como radioenlaces aceptables, sin embargo, los niveles cuyos valores se encuentran en el rango de 5 y 6 se establecen como enlaces cuyo nivel de cobertura no es constante, y finalmente los niveles de cobertura deficiente se encuentra en el rango de 5 a 1 cuyo enlace no es establecido.

Es importante considerar que los niveles de cobertura también dependen de la sensibilidad máxima en el equipo de recepción, ya que la sensibilidad máxima del analizador de espectros es de -107 dBm, por lo cual las medidas inferiores a este promedio no se consideran aceptables.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

6.1. Conclusiones

Establecer un análisis estadístico sobre el tamaño muestral permite mejorar el desempeño de los modelos de propagación empíricos y semi determinísticos, permitiendo optimizar los recursos que se invierten en implementar sistemas de telecomunicaciones, de manera especial, cuando se trata de implementar estos sistemas en zonas no caracterizadas.

La población dentro de una investigación es relativa y depende del campo de estudio en el que se desee trabajar. Con el fin de seleccionar una muestra adecuada y coherente para la investigación, el tamaño muestral le proporciona al investigador un determinado nivel de confianza. Para la presente investigación, se asumieron dos niveles de confianza; en un caso, se asumió un nivel de confianza menor de 68%, el cual genera una probabilidad de fracaso mínima; por tanto, no existió mayor exigencia para su desempeño. Para otros casos, cuando la potencia medida fue baja, se asumió un nivel de confianza cercano al 99%, el cual establece un mejor desempeño en el sistema, y por tanto exige una menor probabilidad de error. Asimismo, para un mejor desempeño del análisis estadístico, se aceptan que el error muestral oscile entre el 1 y el 9 %.

El modelo de propagación *Longley Rice* pese a permitir una planificación de radioenlaces con diferentes escenarios que exhiben variaciones de terreno y clima, presenta una porcentaje de error del 18.8%, obtenido al relacionar los valores medidos en el campo, con las simulaciones teóricas; por lo tanto, a pesar de ser una herramienta de apoyo útil para simular rendimientos de enlaces de comunicaciones en un escenario como el oriente ecuatoriano, requiere un ajuste y validación del tipo de *clutter*, todo esto con la finalidad de alcanzar un mejor nivel de precisión.

Una vez realizadas las comparaciones entre la simulación del rendimiento de un sistemas de comunicaciones HF, y los resultados medidos en campo; se observa una fuerte similitud de resultados para la frecuencia de 20 MHz, de donde se desprende la necesidad de un tamaño muestral de entre 3 y 13 medidas. En tanto que, para frecuencias superiores, se determina la necesidad de

adquirir aproximadamente 1305 muestras, valor que se considera difícil de alcanzar. Se puede afirmar entonces, que estos resultados negativos obedecen a la presencia de posiciones fuera del rango de nivel de cobertura aceptable, de acuerdo con los valores simulados; es decir menores a -110 dBm, en los cuales hubo fuertes interferencias en el ambiente con ninguna visibilidad o línea de vista, pérdidas atmosféricas que afectaron el rendimiento y empeoraron las condiciones del canal de radio.

La banda HF permite que la ionósfera sea un facilitador importante para la propagación de la señal, de manera especial en este tipo de orografía, dónde las condiciones geográficas y climáticas provocan una fuerte atenuación de la misma.

La zona de cobertura efectiva del sistema radiante depende en gran magnitud de la forma en que se ubique el dipolo y de la potencia de radiación; sin embargo, en este tipo de comunicaciones también existe incidencia de la ionósfera, de las condiciones ambientales, de la hora del día y de la estación climática.

Los parámetros ambientales de la zona geográfica donde se ubicaron los puntos de recepción generaron altos niveles de ruido atmosférico, haciendo que la recepción sea más compleja que en otras partes del mundo. Debido a la biodiversidad que presenta el Ecuador, el modelo de propagación *Longley Rice* no abarca todas las especificidades de una orografía selvática, la densidad del medio ha sido afectada por múltiples variables como humedad relativa y tipo de vegetación. De igual manera, se debe considerar altura de obstáculos, altura de vegetación, estimación de biomasa, entre otros; por tanto, se puede verificar que la estimación utilizando el modelo de propagación no siempre es similar a los valores obtenidos en una determinada realidad geográfica, de ahí la importancia de caracterizar un modelo que se ajuste a cada realidad.

La metodología de distribución de equipos de transmisión y recepción, análisis de cobertura y levantamiento del perfil de terreno, son procesos que con el tiempo pueden ser mejorados, ya que constituyen la base para la implementación de futuros modelos, de manera especial, cuando se requiere ajustar un modelo a una orografía específica.

Existen factores que pueden explicar las desviaciones observadas en los valores simulados como son; la atenuación debida a la reflexión del suelo, llamado “reflexiones ionosféricas” como establece la recomendación de la UIT-R P.532-1. Otro factor es la reducción de la coherencia entre la onda directa y reflejada, originada por los árboles que aumentan el nivel de interferencia. Otro motivo para que exista pérdida de potencia es la densidad de vegetación, ya que afecta en mayor porcentaje si se encuentran hojas y denso follaje, como indica la recomendación UIT-R P.833-2, bloqueando parcialmente la propagación de una onda. Adicionalmente a estos factores, la velocidad del viento y la temperatura en la atmósfera son muy variantes a cortas distancias, cuyos efectos son transformados en un gradiente de velocidad del sonido que dan lugar a refracciones y atenuación (INEN-ISO 9613-2).

Si el gradiente de velocidad es significativa, las ondas se curvan y pueden generarse zonas de sombra. Estos efectos no son considerados en el modelo de propagación y puede concluir como una de las razones por las cuales existen pérdidas en la recepción.

En este tipo de enlaces, normalmente las ondas son afectadas por la conductividad características de la superficie de la tierra y pérdidas por vegetación, principalmente en el rango de frecuencia mayor a 20 MHz, generando un problema en la comunicación y pérdida de potencia de recepción debido a las condiciones de humedad con temperatura superior a 27 °C, pluviosidad superior a 2000 mm, y altura de vegetación de 5 m. La atenuación causada por vegetación dificultó la elaboración de un procedimiento de predicción general como se indica en la norma UIT-R PN.833-1 establece que, el uso de frecuencias menores a 1 GHz genera indicios de dependencia específica de polarización y pérdidas causadas por el movimiento del follaje.

Para frecuencias portadoras mayores a los 30 MHz, la propagación se realiza en forma rectilínea; de tal manera que su alcance queda restringido por la curvatura de la tierra, y obstáculos entre transmisión y recepción. Por tanto, la propagación en HF es una solución óptima para pequeñas infraestructuras que no requieren altos recursos.

Con la finalidad de probar una hipótesis de efectividad del modelo de propagación a distancias menores a 1 Km, se tomaron medidas en dichos rangos, observando que el modelo se desempeñó

exitosamente, ya que estableció una comunicación aceptable cuyo rango de potencia de recepción era mayor a -110 dBm.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar una nueva etapa de mediciones, estableciendo mejores condiciones para los enlaces, de acuerdo con las frecuencias de prueba, es decir ajustarse a parámetros de línea de vista y direccionamiento de antenas.

Es importante analizar y diseñar el patrón de radiación de la antena antes de la toma de medidas. Para este análisis se utilizan programas matemáticos que permitan analizar la directividad de la antena, puesto que es un elemento clave para el rendimiento del sistema, de manera especial para poder estimar el rendimiento del enlace en un ambiente complejo como es la región selvática.

Se recomienda ampliar el presente estudio a otras bandas de frecuencia, con el fin de verificar si existe un patrón de comportamiento similar y así poder obtener conclusiones relevantes que puedan aportar en la investigación de buscar un modelo de propagación que se ajuste a la orografía del oriente del Ecuador. Modelos más precisos pueden llegar a reducir el número de transmisores y regular niveles de potencia, haciendo redes más amigables para el medio ambiente y también optimizando el oneroso recurso económico que se invierte en la implementación de redes de telecomunicaciones.

REFERENCIAS

- Alcivar, A., Veloz, J., Silva, C. y Zambrano, D. (2017). Caracterización de un radio enlace entre el campus Portoviejo de la Universidad Técnica de Manabí y su extensión en Bahía de Caráquez. *Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 25.
- Álvarez, E. (2009). Analisis e implementación de un sistema experimental de voz sobre IP empleando el protocolo SIP. Obtenido de Tesis para la obtener el grado de maestro en ciencias, *Instituto Politécnico Nacional*:
http://itzamna.bnct.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/20394/Alvarez%20Hern%C3%A1ndez%2c%20Eva%20Guadalupe_DP.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Anritsu. (s.f.). *Anritsu*. Obtenido de <https://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/products/ms2036a>
- Asterisk. (2017). Next-generation IP phones. Obtenido de <http://www.asterisk.org/>
- Bravo, S. y Pesa, M. (2001). Fenómenos ondulatorios: modelos y razonamientos de estudiantes universitarios. Obtenido de *Organizacion de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Tecnología*:
<http://www.ccpems.exactas.uba.ar/CDs/CD Energia/II/contents/generales/home.htm>
- Cardama, A., Jofre, L., Rius, M., Romeu, J. y Blanch, S. (23 de julio de 2016). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de
http://www.upv.es/antenas/Tema_1/ganancia.htm
- Cervantes, E. (1998). *Estadística Inferencial*. México: INEGI. Obtenido de INEGI.
- Celly, A. (1999). Elementos para caracterizar los nuevos medios de comunicación. *Revista Latina de Comunicación*, 9.
- CSIPSimple. (2011). CSIPSimple. Obtenido de *VoIP Phone Reviews*:
<https://www.onsip.com/voip-phone-reviews/csipsimple>

- Cruz, A. (2011). Verificación de la calidad óptima del audio en el sistema de monitoreo digital de la dirección general de radio, televisión y cinematografía. *Instituto Politécnico Nacional*.
- Demolitas, S. y Phil, D. (1989). Objective speech distortion measures and their relevance to speech quality assessments. (págs. pp. 317-324). DOI: 10.1049/ip-i-2.1989.0045.
- Dutoit, T., Moreau, N. y Kroon, P. (2007). How is speech processed in a cell phone conversation *Faculté Polytechnique de Mons, Belgium*, (págs. pp. 1-9).
- Ong, E. y Jarkko, K. (2011). IEEE 802.11ac: Enhancements for very high throughput WLANs. *IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications* (págs. pp. 849-853). doi: 10.1109/PIMRC.2011.6140087.
- Feedback Networks, 1. (2013). Calcular la muestra correcta. Obtenido de <https://www.feedbacknetworks.com/cas/experiencia/sol-preguntar-calcular.html>
- Granizo, A. (2016). Guía referencial para el manejo de QoS en redes WLAN priorizando tráfico . Obtenido de *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*: <https://www.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1077/948>
- Hernández, A. (5 de junio de 2009). UDO Space. obtenido de propuesta de un sistema de gestión y monitoreo de flota vehicular para Pdvsa Distrito Social San Tomé: <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/handle/123456789/1863>
- Hiertz, D. (2010). The IEEE 802.11 Universe. *IEEE Communications Magazine* (págs. pp. 62-70). doi: 10.1109/MCOM.2010.5394032.
- INEC. (20 de Enero de 2015). Ecuador en cifras. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantoniales/Orellana
- Isaías, J. (2015). Modelo de propagación de Longley-Rice. Mexico D.F.

- ITU. (2003). Series G: Transmission systems and media, digital systems and networks.
- Ferreira, J. y Granados, G. (2016). Evaluation of the performance of a network Lan over powerline communications for the transmission of Voip. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia Bucaramanga, Colombia*, (págs. pp. 84-88). Colombia.
- Kondo, A. I. (2004). Digital speech coding for low bit rate communication systems. (págs. 28-56). John Wiley & Sons.
- Lai, W. y Nobuo, F. (2017). Cross-Layer selective routing for cost and Delay minimization in IEEE 802.11ac wireless mesh network. *Department of Electrical Engineering, National Taiwan Normal University, Taipei*. doi: 10.1007/s11276-017-1462-9.
- Lind, D. y Samuel, A. W. (2012). Estadística aplicada a los negocios y la economía. México: McGRAW-HILL.
- Llerena E., Araujo, B. y Jara, L. (2016). Planificación de rutas para los UAV's . *revistapolitecnica*, 8.
- Martinez, J. (2015). *Tipos de antena y funcionamiento*. Obtenido de WNI México Wireless Solution:
http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenassoporte&catid=31:general&Itemid=79
- Nateel, T. (2013). *Ajuste del modelo de propagación HATA COST para entorno metropolitano*. Cantabria.
- Pepinosa, R. y Rodriguez, Z. (2013). Revisión de la Implementación del servicio de IPTV sobre Redes Inalámbricas y Móviles con Calidad de Servicio. *Facultad de Ingenierías Fisiomecánicas* (págs. pp. 40-50). ISSN: 2145-8456.

- Pellejero, I. (23 de Octubre de 2009). *EA4FSI-28T123 Radio Station*. Obtenido de Manual de Cálculo de Coberturas con Radio Mobile:
http://www.ipellejero.es/radiomobile/RM_01.php
- Rabiner, L. y Schafer, R. (1978). *Digital processing of speech signals*. Prentice Hall.
- Ramos, L. (2016). Diseño de una red VPN para la integración de los servicios de VoIP y video vigilancia para los infocentros comunitarios. Obtenido de Perfil del trabajo previo a la obtención del título de master en redes de comunicación, *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*:
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12606/DISE%C3%91O%20DE%20UNA%20RED%20VPN%20PARA%20LA%20INTEGRACI%C3%93N%20DE%20LOS%20SERVICIOS%20DE%20VOIP%20%20Y%20VIDEO%20VIGILANCIA%20PARA%20LOS%20INFOCENTROS%20COMUNITARIOS..pdf?sequence=1&isAllowe>
- Rice, P. (2000). Notes on Longley-Rice propagation. Obtenido de Softwright Web site:
<http://www.softwright.com>
- Reino, M. y Alberto, M. (31 de marzo de 2017). *Repositorio Dspace*. Obtenido de Modelo de propagación para la ciudad de Cuenca (Ecuador), en redes WLAN operando en 2.4 GHz y 5.8 GHz, en ambientes exteriores:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/38431>
- Guevara, S. y Villamizar, B. (2011). Telephone support: A strategy of intervention for family caregivers in chronic health conditions. *Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia*.
- Salazar, R. (22 de mayo de 2005). *EHAS*. Obtenido de Sistema de voz sobre IP:
http://www.ahas.org/wp-content/uploads/2012/01/RodrigoSalazar_PFC.pdf
- Takahashi, A. y Hideaki, Y. (2004). Percentual QoS assessment technologies for VoIP. *IEEE Communications Magazine* (págs. pp. 28-34). doi: 10.1109/MCOM.2004.1316526.

Tonfat, J. y Cárenas, C. (2008). Diseño de un modulador FM basado en la tecnología Software Radio. *XIV Iberchip Workshop* . ISBN-13 978-968-7938-03-5.

T. ITU, 1. (1996). Aspectos generales de los sistemas de transmisión digital. *Recomendación UIT-T G.764*.

Terman, F. (1995). *Electronic and radio engineering*. McGraw-Hill Inc.

Toledo, T. (4 de Marzo de 2011). Medios de transmisión. Obtenido de Slideshare Web site: <https://es.slideshare.net/tomyto23/medios-de-transmision-7150136>

Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Phoenix : Prentice Hall.

TP-Link. (2017). Router gigabit de banda dual inalámbrico AC1750. Obtenido de http://www.tp-link.ec/products/details/cat-9_Archer-C7.html

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2007). *Recomendación UIT-R V.573-5**. Obtenido de UIT Web site.

Universal Radio, Inc. (2009). *MP Antenna*. Obtenido de *Universal Radio*: <https://www.universal-radio.com/catalog/scanants/1628.html>

Wonho, Y. y Dixon, M. (2002). A modified bark spectral distortion measure which uses noise masking threshold. DOI: 10.1109/SCFT.1997.623893.

Zhou, G. (2016). The study and implementation of voip intelligent voice communication system based on SIP protocol. *Xiamen University Zhangzhou Campus*. doi: 10.1145/3028842.3028861.

Zoiper. (2017). Zoiper. Obtenido de <https://www.zoiper.com/en>

