



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UNA APLICACIÓN PARA
EL CÁLCULO DE RADIO ENLACE
EN EL TERRITORIO NACIONAL
VENEZUELA**

Autor:
Inojosa, José

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master)



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO DE UNA APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO DE RADIO ENLACE
EN EL TERRITORIO NACIONAL VENEZUELA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO TELECOMUNICACIONES**

Autores: Inojosa, José
C.I.:26.020.131
Tutor: Ing. José Centeno

San Diego, Agosto 2021



FE-T-001-2021-ICR(TG)

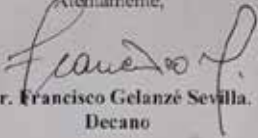
Valencia, 21 de julio de 2021

Ciudadano:
Inojosa González, José Andrés.
C.I. 26.020.131
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2021 de fecha 25-05-2021 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **DISEÑO DE APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO DE RADIO ENLACE EN EL TERRITORIO NACIONAL VENEZUELA**, presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

Se ratifica la designación del Ing. José Centeno C.I: 10.738.814 como Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,


Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.
Decano



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado.

GF/aa



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA TELECOMUNICACIONES

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero José Centeno, titular de la cédula de identidad N° 10.738.814, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano José Inojosa titular de la cédula de identidad N.° 26.020.131, titulado "APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO DE RADIO ENLACE EN EL TERRITORIO NACIONAL VENEZUELA.", presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 6 de Agosto del año 2021

Ing. José Centeno
C.I.: 10.738.814

INDICE GENERAL

CONTENIDO	Pp.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES	XII
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Justificación.....	5
1.5 Alcance de la Investigación.....	5
1.6 Limitaciones	6

II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes	7
2.2 Bases teóricas	9
2.2.1 Radioenlace.....	9
2.2.2 Diseño de Radioenlace	9
2.2.3 Calculadora de Radioenlace	9
2.2.4 Modelos Digitales de Elevación (MDE).....	10
2.2.5 Disponibilidad.....	10
2.2.6 Alturas de las Antenas	10

2.2.7 Ganancia de las Antenas	10
2.2.8 Frecuencia de Operación	11
2.2.9 Potencia de Transmisores	11
2.2.10 Pérdidas de Cables y Guías de Onda	11
2.2.11 Pérdida de Conectores	11
2.2.12 Índice Troposférico k.....	12
2.2.13 Sensibilidad del Receptor	12
2.2.15 Pérdida de atenuación en el espacio libre (LSF)	12
2.2.16 Reflexión (Desvanecimiento Multitrayecto)	13
2.2.17 Difracción	13
2.2.18 Vegetacion	13
2.2.20 Linea de Vista	14
2.2.21 AZIMUT (Magnetico y Verdadero)	14
2.2.22 Elevación	15
2.2.23 Punto de Reflexion	15
2.2.24 Zona de Fresnel.....	16
2.2.25 Presupuesto de Potencia	16
2.2.26 Margen de desvanecimiento	16
2.3 Bases Legales	17
2.3.1 Recomendación UIT-R P.676-11. (09/2016). Atenuación debida a los gases atmosféricos.	17
2.3.2 Recomendación UIT-R P.530-17. (12/2017). Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa.....	17
2.3.3 Recomendación UIT-R P.833-9. (09/2016). Atenuación debida a la vegetación.	18
2.3.4 Recomendación UIT-R P.341-7. (08/2019) Noción de pérdidas de transmisión en los enlaces radioeléctricos	18

2.3.5 Recomendación UIT-R P.834-7(10/2015) Efectos de la refracción troposférica sobre la propagación de las ondas radioeléctricas	18
2.4 Definición de Términos	18

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación	21
3.2 Diseño de la Investigación	21
3.3 Nivel de la Investigación	22
3.4 Población y Muestra	22
3.5 Técnicas e Instrumentos de Investigación	23
3.5.1 Técnicas de Recolección de Datos.....	23
3.5.1.1 Revisión Documental	24
3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos	24
3.5.2.1 Instrumento de Registro	24
3.6 Fases de la investigación	24

IV RESULTADOS

4.1 Fase I: “Estudio de los procedimientos actuales para el cálculo de radioenlace y los elementos que componen el sistema.”	26
4.1.1 Pasos para cálculo de Radioenlaces punto a punto.....	26
4.1.2 Cálculos	33
4.2 Fase II: “Caracterizar las herramientas elegida para la elaboración del software, justificando así su pertinencia frente a herramientas similares.”	38
4.2.1 Caracterización de las herramientas para la elaboración del software	38
4.2.2 Software de Programación Python	42
4.2.2.1 Características del Python	42
4.2.2.2 Ventajas y desventajas de Python	43
4.2.2.3 Hardware Utilizado para su Implementación y desarrollo.....	44
4.3 Fase III: “Desarrollo de los algoritmos para los cálculos de pérdidas.”	45

4.3.1 Descripción de la Programación	45
4.3.1.1 Librerías utilizadas en Python	46
4.3.1.2 Funciones para el análisis de datos utilizadas en Python	47
4.3.1.3 Diseño de la interfaz gráfica en Python	52
4.3.1.4 Simulación de la interfaz gráfica en Python	56
4.4 Fase IV: “Comparación de los resultados obtenidos con otras herramientas de cálculo disponibles con prestaciones similares”	59
4.4.1 Selección de las herramientas de cálculo de radioenlace disponibles	59
4.4.2 Comparación de Resultados	62
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pp.
Figura 1. Valores típicos de la sensibilidad del receptor de las tarjetas de red inalámbrica.....	12
Figura 2. Atenuación en zona boscosa según ITU-RP.833.....	14
Figura 3. Perfil Topográfico.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Punto de Reflexión	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5. Características de los softwares de programación	39
Figura 6. Diagrama de flujo	46
Figura 7. Librerías Python.....	47
Figura 8. Función para el análisis de datos	47
Figura 9. Función de transformación de grados y coordenadas.....	48
Figura 10. Función de la determinación para la flecha	48
Figura 11. Función de la determinación de la línea de vista y zona fresnel	49
Figura 12. Función de la determinar el cálculo de perdidas 1	50
Figura 13. Función de la determinar el cálculo de perdidas 2	50
Figura 14. Función de la determinar el cálculo de perdidas 3	50
Figura 15. Función la ventana de calculo.....	51
Figura 16. Función para la creación de PDF.....	52
Figura 17. Diseño de la Interfaz Gráfica.....	52
Figura 18. Diseño de la Interfaz Gráfica 2.....	56
Figura 19. Simulación de la interfaz gráfica del programa desarrollado	57
Figura 20. Simulación de la interfaz gráfica del programa desarrollado 2	58
Figura 21. Reporte PDF 1	58
Figura 22. Reporte PDF 12	59
Figura 23. Simulación con el programa desarrollado en el trabajo de grado.....	64
Figura 24. Simulación con el programa Radio Mobile Resultados	65

Figura 25. Simulación con el programa Radio Mobile Grafica 66

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	Pp.
Tabla 1. Ventajas y Desventajas de herramientas de software	41
Tabla 2. Hardware para el desarrollo del programa	44
Tabla 3. Ventajas y Desventajas de los programas a comparar	61
Tabla 4. Comparación de Resultados	67

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN	Pp.
Ecuación 1 Azimut Verdadero	27
Ecuación 2 Azimut Magnético.....	27
Ecuación 3 Elevación	28
Ecuación 4 Punto de Reflexión.....	29
Ecuación 5 Margen de Desvanecimiento.....	29
Ecuación 6 Pérdida del Espacio Libre	30
Ecuación 7 Pérdida de los Cables	31
Ecuación 8 Pérdida de los Conectores	31
Ecuación 9 Pérdida de la Vegetación.....	32
Ecuación 10 Pérdida de la Vegetación (Cubierto)	32
Ecuación 11 Ganancia del Sistema	32
Ecuación 12 Ganancia de las Pérdidas.....	33
Ecuación 13 Viabilidad del Sistema	33



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO DE UNA APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO DE RADIO ENLACE
EN EL TERRITORIO NACIONAL VENEZUELA**

Autores: Inojosa, José

Tutor: Ing. José Centeno

Fecha: Agosto 2021

RESUMEN

El presente trabajo expone el diseño y la demostración de un software de cálculo para radioenlaces punto a punto, que ofrece las características que se acoplan a ambientes urbanos o rurales. Para la programación y ejecución se utiliza como lenguaje de programación interpretado a Python. Los parámetros que se ingresan deben ser validados para transmisión y recepción, para el modelo de predicción escogido se determina que, la altura de la antena que transmite debe estar entre 30 a 200 metros, y la antena receptora de 1 a 10 metros, el rango de frecuencia aplicable es de 150 MHz y 1500 MHz. Los resultados que se muestran después de ingresar la geolocalización o coordenadas de los puntos transmisor (TX) y receptor (RX) son la distancia entre ellos, expresada en kilómetros, la predicción de la intensidad del campo y las pérdidas de la potencia entre las frecuencias del enlace. Con los valores obtenidos se podrá variar los parámetros del radioenlace para obtener un mejor desempeño. Para el análisis de resultados se realizó simulaciones con puntos ubicados dentro del territorio nacional venezolano, cargando mapas DEM dentro de la interfaz gráfica de usuario implementada. Por otro lado, el proyecto de investigación está enmarcado dentro de la modalidad de investigación de proyecto factible, bajo los lineamientos de la investigación de campo, con un nivel descriptivo y documental.

Descriptor: Radioenlace, DEM, Transmisor, Receptor, Simulación.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día los sistemas de comunicación inalámbricos nos rodean por todas partes, ejemplo de estos son los ya habituales sistemas de telefonía móvil, la televisión digital terrestre o los radioenlaces punto a punto. Para el correcto funcionamiento de estos sistemas resulta crucial un diseño adecuado del interfaz radioeléctrico. Haciendo énfasis en el diseño de radioenlaces, disciplina que involucra toda una serie de cuestiones tales como la elección de la banda de frecuencias, el tipo de antenas y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencias, la estimación de los niveles de ruido e interferencia o el conocimiento de las distintas modalidades y fenómenos de propagación radioeléctrica, entre otras.

En este sentido, los radioenlaces entre puntos fijos situados en la superficie terrestre permiten la interconexión por ondas electromagnéticas entre terminales de telecomunicaciones, los cuales poseen un conjunto de ventajas. De este modo, es un medio muy seguro, cuyo rendimiento permite cubrir la mayoría de los proyectos con necesidades de larga distancia, esquivando los altos costos que supondría la instalación de cualquier medio guiado.

Ahora bien, para realizar una instalación de un radio enlace utilizando frecuencia de microondas u ondas milimétricas, es indispensable ejecutar la validación de línea de vista directa entre las antenas, por ende, se debe realizar una visita de los sitios donde se llevará a cabo la instalación y comprobaciones adicionales que aseguren una instalación eficaz. Por lo tanto para realizar una instalación de radio enlaces punto a punto los cuales deben estar visibles o elevados a nivel topográfico, para magnitudes indistintas, se solicita trayectoria libre para poder propagar la señal sin exceder la atenuación entre radio enlaces, considerando los cambios de condiciones atmosféricas.

Todas estas variables ya mencionadas requieren un exhaustivo análisis que debe ser calculado, lo cual toma una gran cantidad de tiempo y recursos, es por ello que una de las opciones disponibles para hacer el proceso más eficiente es el uso de

herramientas como softwares de fácil manipulación para el diseñador de un proyecto de esta clase.

De esta forma, en este trabajo se plantea realizar una herramienta computarizada que facilite los cálculos necesarios para el diseño de enlaces de microondas punto a punto, permitiendo el manejo de la información necesaria de los equipos presentes en el mercado utilizados para calcular el enlace, con la finalidad de que se disminuya el tiempo de realización del proyecto, de manera que el proceso de diseño pueda hacerse a través de una interfaz amigable para el usuario.

En este sentido, la presente investigación está estructurada en cuatro capítulos, con el fin de cumplir las normativas establecidas por la Universidad José Antonio Páez, dichos capítulos se describen a continuación:

Capítulo I: El Problema, este capítulo describe el problema planteado en la investigación, contiene planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos generales, objetivos específicos y la justificación de la investigación.

Capítulo II: Marco Teórico, hace hincapié en los antecedentes y bases teóricas que sustentan este proyecto de grado.

Capítulo III: Marco Metodológico, contiene a profundidad la naturaleza de la investigación, al igual que todas las técnicas e instrumentos a utilizar. Contiene el nivel de la investigación, el tipo y diseño de la investigación, su población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y técnicas de análisis de datos.

Capítulo IV: Resultados, se estarán presentados todos los resultados obtenidos para el desarrollo de este proyecto de grado, dejando así el alcance del objetivo general.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La industria de las telecomunicaciones está evolucionando a un ritmo vertiginoso y el mundo parece estar cambiando, puesto que estas nos permiten enviar mensajes a todo el mundo en un instante. Algunos ejemplos de telecomunicaciones: Teléfonos móviles, líneas terrestres, teléfonos satelitales comunicaciones satelitales, protocolo de voz sobre Internet (VoIP), Radio, Televisión, Red. Los dispositivos de telecomunicaciones envían información a través de una red de enlaces que crean una vía entre el emisor y el receptor. La información viaja como pulsos eléctricos a lo largo de cables de cobre, como destellos de luz a lo largo de fibras ópticas (hebras delgadas de fibra de vidrio), o como señales de radio o microondas entre antenas, torres, edificios y satélites.

Mientras tanto las telecomunicaciones en Venezuela constituyen un sector en franca expansión. Las oportunidades de inversión en el sector siguen siendo múltiples. La demanda de la mayoría de los servicios está insatisfecha, y son necesarias más inversiones y nuevas empresas; áreas tales como televisión por suscripción, redes privadas y servicios de valor agregado, tienen ya un mercado cautivo mientras que el éxito que ha tenido la telefonía celular, evidencia la creciente demanda que este tipo de servicio registra en el país.

Cabe destacar que los radioenlaces hay de muchos tipos y funciones, por ejemplo, la radio comercial que todos conocemos, que es un tipo de radioenlace multipunto, o los enlaces de larga distancia por satélite y las conexiones digitales terrestres, ambos radioenlaces punto a punto. Si nos centramos en los radioenlaces digitales terrestres, seguro serán familiares términos como: Internet por radio, Internet por WIFI, Internet por WiMA Todas estas conexiones basan su funcionamiento en la comunicación inalámbrica mediante el uso de radioenlaces. Como su nombre indica, la base de un radioenlace es la comunicación mediante ondas de radio, que permiten

transmitir datos entre dos ubicaciones separadas por pocos metros de distancia o decenas de kilómetros.

Pero, aunque los radioenlaces son una opción más económica y rápida en comparación a otros sistemas de telecomunicación como fibra óptica y transmisión por cobre siguen siendo costosos y requieren un estudio de la zona en la cual se piensa implementar, hay muchos factores que influyen en su funcionamiento la cual se espera que tengan una buena comunicación, por lo tanto, está la necesidad de realizar un análisis de viabilidad para obtener las características imprescindibles de los componentes del sistema.

Hoy en día hay una alta demanda en el campo de las telecomunicaciones por lo que se necesita para poder dar buen servicio al momento de diseñar un montaje de radioenlaces lo más rápido y eficiente posible, para ello se requiere la construcción de un software de cálculo de radioenlace de microondas enfocado en el territorio venezolano, ya que es imprescindible un análisis en el que se tengan los datos del terreno donde se piensa implementar y que cumpla las características de los equipos.

En este sentido, es necesario tener una investigación y comprobar todos los parámetros que interviene en dicho sistema antes de la construcción o montaje de una torre para no tener pérdidas o gastos innecesarios.

1.2 Formulación del problema

El planteamiento antes expuesto, lleva a formular la siguiente interrogante:

¿Cómo realizar un análisis de viabilidad en el diseño de un radioenlace punto a punto?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un software con Interfaz gráfica, para el cálculo de radioenlace de microondas punto a punto en el territorio venezolano.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudiar los procedimientos actuales para el cálculo de radioenlace y los elementos que componen el sistema.
- Caracterizar las herramientas elegidas para la elaboración del software, justificando así su pertinencia frente a herramientas similares.
- Desarrollar algoritmos para los cálculos de pérdidas.
- Comparar los resultados obtenidos con otra herramienta gratuita de cálculo disponible.

1.4 Justificación

El diseño de un radioenlace requiere una serie de cálculos específicos para cada caso, los cuales dependen de las características del sistema, del medio y del tipo de problema al que tengamos que proporcionarle una solución.

De esta manera es necesario conocer de forma precisa y detallada el entorno de la instalación: edificios, vegetación o cualquier otro tipo de obstáculos. Siempre es recomendable comprobar la viabilidad del enlace prevista por la simulación para poder llevar a cabo la instalación de un enlace punto a punto de corto o largo alcance. Es así como a través del desarrollo de esta herramienta para cálculo de radioenlaces se podrá comprobar la viabilidad de un proyecto, ya que nos facilita el cálculo sistemático de parámetros y variables comunes.

1.5 Alcance de la Investigación

El alcance de este proyecto está enfocado en la elaboración paso a paso de una herramienta para el cálculo de radio enlace y la evaluación necesaria para la disponibilidad técnica de la construcción de un sistema de radiodifusión. Dentro de este orden de descripción se podrán resumir los datos de estudio, gráficas y resultados en un reporte generado mediante la interfaz gráfica, lo que permite una ventaja prediciendo parte del comportamiento que tendrá un radioenlace suministrándole los datos necesarios pertinentes, agilizando la obtención de información del estudio, sea para presentación, muestra rápida de posibles inconvenientes u errores.

1.6 Limitaciones

Entre las limitaciones que se presentan en este caso de estudio se destaca que los resultados de la herramienta dependen de los datos obtenidos mediante el Modelo Digital de Elevación (DEM) ya que los datos geográficos y topográficos determinan la precisión de este.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Bayón G. Pablo (2019) En su informe de investigación titulado “**Simulador en Python para el cálculo de pérdidas de propagación según la Rec. ITU-R P.530**” Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla, España. Este trabajo de fin de grado aporta al lector los algoritmos y métodos matemáticos empleados para el cálculo de la atenuación debida a lluvia y gases para radioenlaces terrestres basándose en la recomendación ITU-R P.530. Se propuso una serie de casos y se resolvieron de manera analítica con el objetivo de afianzar estos conocimientos. Una vez aclarados los conceptos teóricos de este tipo de pérdidas, se realiza el programa en Python que implementa todo lo mencionado anteriormente. Además, con la ayuda del modo gráfico de Python y las librerías numpy y matplotlib, se generarán una serie de gráficas para comprobar la influencia de algunos de los parámetros en las pérdidas totales y así obtener unas detalladas conclusiones.

Tomando esto en cuenta, el informe citado, se vincula con la actual investigación, debido a que aporta procedimientos, scripts y funciones necesarias para la creación del software, resumiendo los datos de estudio, gráficas y resultados en un reporte generado mediante la interfaz, permitiendo así, tener un ejemplo claro de cómo crear un programa en Python para análisis de datos con interfaz gráfica.

Por su parte, Vichicela, J (2019) en su proyecto de Investigación con el título “**Desarrollo de una aplicación informática, para el análisis y balance de un radio enlace, bajo el software MATLAB**” Para optar al grado de ingeniero en electrónica digital y telecomunicaciones en la Universidad Tecnológica Israel. En este trabajo se muestra el diseño y la implementación de un software de análisis y predicción de pérdidas de señal de radioenlaces, mediante el modelo de propagación Okumura - Hata, que ofrece las características que se acoplan a ambientes urbanos, para la programación

y ejecución se utiliza como lenguaje interpretado, al programa MATLAB R2015a con licencia estudiantil. Se define para esta aplicación la recomendación de la UIT P.529-3 que establece los datos necesarios para los modelos de propagación.

En este sentido, este proyecto se relaciona con el actual en función al diseño de un software donde los parámetros que se ingresan deben ser validados para transmisión y recepción, los resultados que se muestran después de ingresar la geolocalización o coordenadas de los puntos transmisor (TX) y receptor (RX) son la distancia entre ellos, expresada en kilómetros, la predicción de la intensidad del campo y las pérdidas de la potencia entre las frecuencias del enlace. Con los valores obtenidos se podrá variar los parámetros del radioenlace para obtener un mejor desempeño, dando un análisis de resultados que se realizó mediante simulaciones con puntos ubicados dentro de la ciudad de Quito, cargando mapas SRTM dentro de la interfaz gráfica de usuario implementada.

Por último Sánchez, G (2018) con su investigación denominada **“Desarrollo de un software de monitoreo y predicción en tiempo real de incidencias ambientales para data center de telecomunicaciones”** Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones y Redes en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas en Lima, Perú. Hace referencia a un proyecto que trata sobre una aplicación de predicción de fallos en tiempo real, la cual es capaz de predecir fallos y proporcionar un tiempo de reacción ante un incidente.

El software implementado tiene dos modos: online y simulación. El modo online es una aplicación para extraer la información de los sensores de ambientales, este fue implementado en Bitel Telecom donde empresa manifestó su aprobación con una carta de recomendación. Por otro lado, el modo simulación funciona utilizando un servidor web, para subir los resultados en internet y poder monitorearla desde un móvil o PC. Cabe destacar que el modo simulación tiene dos modos: aleatorio y manual. En estos modos se puede modificar parámetros del algoritmo según exigencias de la empresa. Luego de varias pruebas, se llegó a la conclusión de que la predicción de fallos ayudara a evitar incidentes y generar ahorros económicos.

De esta forma, la investigación citada, se vincula con la actual puesto que incluye el desarrollo e implementación de un software para el monitoreo dedicado a un equipo de telecomunicaciones que se centra en la predicción de posibles fallos enfocado para los Data-Center o similares, mediante el monitoreo de variables ambientales (Temperatura, humedad y punto rocío) en tiempo real.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Radioenlace

Se pueden definir los Radioenlaces como sistemas que permiten el intercambio de información entre dos puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, mediante la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas, que proporcionan una capacidad de información con unas características de disponibilidad y calidad determinadas. Generalmente los radioenlaces utilizan frecuencias superiores a 1GHz, en la región de las microondas y por ello se les llama también radioenlaces de microondas. “Los radioenlaces son, en ciertas aplicaciones, una forma eficiente de transmitir información punto a punto vía espacio libre” (García y Llamo, 2006). Esto se debe a que no requieren instalaciones complejas, ya que basta con la instalación de radios y antenas, que pueden estar ubicadas a decenas de kilómetros de distancia.

2.2.2 Diseño de Radioenlace

Al hablar del diseño de Radioenlace, se hace referencia a una disciplina que involucra toda una serie de cuestiones, tales como la elección de la banda de frecuencias, el tipo de antenas y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencias, la estimación de los niveles de ruido e interferencia o el conocimiento de las distintas modalidades y fenómenos de propagación radioeléctrica que se deben principalmente al medio y obstáculos en el trayecto, entre otras.

2.2.3 Calculadora de Radioenlace

A través de las calculadoras de radioenlaces podemos realizar los cálculos que necesitan aplicarse en los modelos de predicción de radioenlaces para comprobar la viabilidad de la instalación, ya que nos facilita el cálculo sistemático de parámetros y variables comunes como: alcance, balance de potencias, margen frente a

desvanecimientos, completando los campos requeridos por el software, para agilizar el desarrollo del proyecto.

2.2.4 Modelos Digitales de Elevación (MDE)

Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados. En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud (valores submétricos).

2.2.5 Disponibilidad

La disponibilidad cuantifica la probabilidad de que el sistema se encuentre en condiciones de funcionamiento en un momento dado.

2.2.6 Alturas de las Antenas

Es la posición de las antenas en altura respecto a la superficie terrestre. Siendo TX la antena transmisora y RX la receptora. Así mismo, la posición de las antenas establece la longitud de las líneas de transmisión que conectan las antenas con los equipos transceptores.

2.2.7 Ganancia de las Antenas

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.

Es la relación entre la intensidad de campo irradiado por la antena en la dirección de máxima radiación, respecto de la intensidad de campo que irradiaría una antena isotrópica (que es la antena hipotética que irradia con igual intensidad en todas direcciones) o de otra antena tomada como referencia (tal como el dipolo elemental).

2.2.8 Frecuencia de Operación

También llamada frecuencia de resonancia. Es la frecuencia a la cual la antena irradia toda la potencia que incide sobre ella (excepto pérdidas). Las dimensiones de los elementos irradiantes de la antena determinan la frecuencia de operación.

2.2.9 Potencia de Transmisores

El nivel de potencia que un equipo inalámbrico emite. Usualmente expresada en decibeles o miliwatts. Algunos valores típicos son: +15 dBm (~33mW), 100 mW (+20 dBm), 200 mW (23 dBm). Nótese que la potencia de transmisión siempre es un valor positivo en dBm (mayor a 1mW) mientras que la sensibilidad es un valor negativo en dBm (menor a 1mW).

2.2.10 Pérdidas de Cables y Guías de Onda

Hace referencia a las pérdidas de propagación a través de una estructura que permita el confinamiento y guiado de las ondas desde el punto origen (típicamente llamado generador) hasta un punto destino (típicamente llamado carga). Las pérdidas por cable son una variable a considerar como entrada debido a que independiente de lo bueno que sea el cable siempre habrá pérdidas, de modo que todos los tipos de cables en la industria poseen una estimación, tabla o hoja de valores de pérdidas referente a ello, la mayoría son dependientes de la frecuencia de operación.

2.2.11 Pérdida de Conectores

Las principales causas de estas pérdidas son el cobre- calor disipado en la superficie del conductor (efecto piel), relacionada con el conductor principal y el revestimiento metálico usado y la pérdida reflejada- energía reflejada perdida en la dirección de la transmisión. Pérdida dieléctrica- pérdida de potencia en el material dieléctrico.

Se debe considerar un promedio de pérdidas de 0.3 a 0.5 dB por conector como regla general. Además, los protectores contra descargas eléctricas que se usan entre las antenas y el radio deben ser presupuestados hasta con 1 dB de pérdida. Pérdida dieléctrica- pérdida de potencia en el material dieléctrico.

2.2.12 Índice Troposférico k

Una transformación muy conocida permite considerar rectilínea la propagación por encima de una Tierra hipotética de radio ficticio $R_e = k a$, donde:

$$\frac{1}{k a} = \frac{1}{a} + \frac{dn}{d}$$

muchos fines la pérdida en la trayectoria por encima de los 10 GHz se puede considerar como pérdida de espacio libre.

2.2.16 Reflexión (Desvanecimiento Multitrayecto)

Se produce por reflexión en el suelo o por reflexión en la atmósfera (debido a cambios en el índice de refracción) y aumenta con frecuencia y distancia. Para planificar enlaces de más de unos pocos kilómetros de longitud deben tenerse en cuenta diversos mecanismos de desvanecimiento en condiciones de cielo despejado originados en las capas extremadamente refractivas de la atmósfera, a saber: dispersión del haz, desalineamiento de antena y propagación por trayectos múltiples en la superficie y en la atmósfera

2.2.17 Difracción

Cuando las ondas electromagnéticas inciden sobre un obstáculo, se difractan. Este fenómeno permite explicar la presencia de ondas electromagnéticas detrás de irregularidades del terreno, como montañas, edificios, la propia curvatura de la Tierra, aunque no exista estrictamente visibilidad directa entre transmisor y receptor.

Sin embargo, las atenuaciones son muy superiores a las propias de espacio libre, con lo que la señal que llega al receptor es más débil. En sistemas de radiocomunicaciones es suficiente con dejar visible una zona de Fresnel sobre cada obstáculo para que el efecto de la difracción sea despreciable. Basta trabajar en el entorno de la primera Zona de Fresnel, en consecuencia, se añade la variable despejamiento que consiste en la distancia h entre la línea de vista y el obstáculo.

2.2.18 Vegetacion

Si entre el transmisor y el receptor se encuentra una zona boscosa, hay una pérdida por vegetación debido a la penetración de las ondas a través de la vegetación. Según la recomendación ITU-R P.833 existe una atenuación específica por vegetación expresada en (dB/m) que depende de la frecuencia y a menores frecuencias también depende de la polarización.(Ver figura 2)

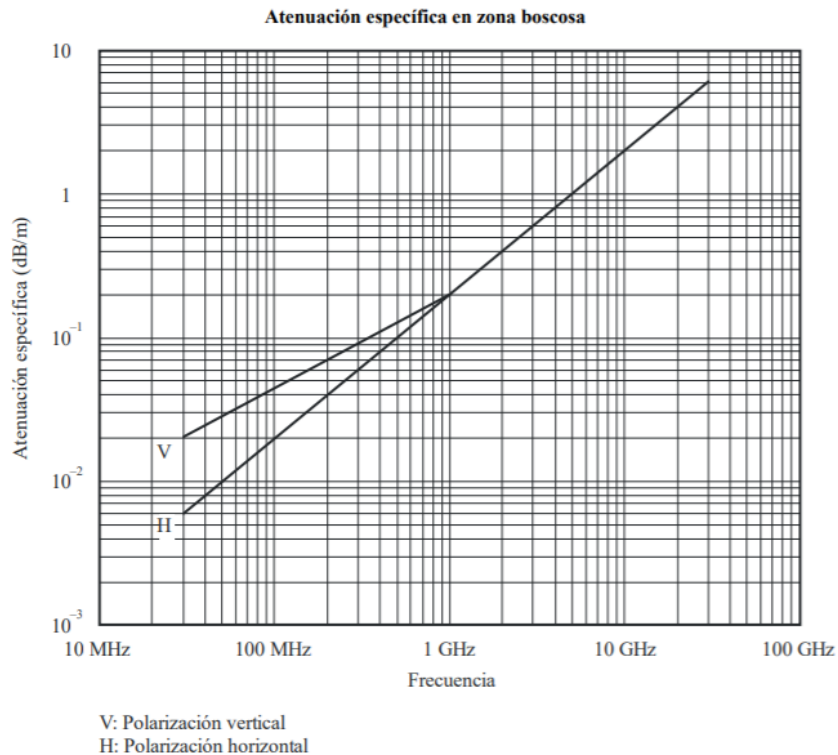


Figura 2. Atenuación en zona boscosa según ITU-RP.833
Fuente: Recomendación UIT-R P.833-9 (09/2016)

2.2.20 Línea de Vista

Es la línea recta que muestra el trayecto de propagación de la onda desde la antena transmisora hasta la antena receptora, para que el radioenlace funcione adecuadamente, es necesario que exista visión directa entre las dos antenas que lo forman. Es decir, propagación de alcance visual es la que tiene un enlace de radio, laser o infrarrojo que debe tener visibilidad directa entre las antenas emisora y receptora, por lo que no debe haber obstáculo entre ambas.

2.2.21 AZIMUT (Magnético y Verdadero)

Es un valor indicativo de la orientación de cada antena que compone el radioenlace denotando así la inclinación del radioenlace con referencia al norte de la Tierra, este valor viene dado en grados y es importante resaltar que hay dos Norte que

pueden ser de interés, uno el geográfico (llamado también verdadero) y otro el magnético, pues entre ambos existe una desviación que se hace más o menos notoria dependiendo de la posición en que se ubique la antena. La diferencia es de posición el polo norte geográfico es fijo y el polo norte magnético cambia con el tiempo. Si utilizamos una brújula para llegar al polo norte real (el geográfico) tendríamos que hacer correcciones. En el terreno es más económico y de fácil acceso una brújula en contraparte a aparatos como GPS o parecidos, la brújula apunta al norte magnético de la tierra, por lo que es una práctica común orientar la antena en referencia al norte magnético, este se calcula a partir del azimut verdadero y la desviación (desviación) correspondiente a la zona.

2.2.22 Elevación

Es un valor indicativo de la orientación de cada antena que compone el radioenlace denotando así la inclinación del radioenlace con referencia al suelo, este valor viene dado en grados y se calcula a partir de la distancia (d) entre las antenas y la altitud. Es el ángulo al que hay que elevar la antena desde el horizonte para localizar el satélite. El ángulo que forma el eje de la parábola con respecto al suelo, está formado por los lados de un triángulo satélite-antena y antenasuelo. Una vez que se ha “elevado” la antena hacia la órbita geostacionaria, hay que localizar el satélite ajustando la antena a izquierda o derecha.

2.2.23 Punto de Reflexion

La Reflexión suele ser importante y considerable en Sistemas que utilizan Antenas de poca directividad, como por ejemplo, las empleadas en Sistemas Móviles, donde las reflexiones afectan considerablemente.

En los Sistemas de Radioenlaces de Microondas las Reflexiones no suelen ser mayor problema debido a que sus Antenas son altamente directivas y a las frecuencias que operan dada su pequeña longitud de onda en comparación con la mayoría de los terrenos estas reflexiones suelen ser difusas, sin embargo, hay casos en los que sí es requerido realizar adecuaciones para contrarrestar el efecto de la Reflexión, como por ejemplo, cuando en el trayecto del Radioenlace existe zonas de agua o abundante

vegetación, se hace necesario realizar cálculos del Punto de Reflexión y estudiar su efecto.

2.2.24 Zona de Fresnel

Basado en que la antena es el foco primario de un frente de onda que se expande, el principio de Huygens que establece que cada punto del frente de onda genera una onda esférica y que las ondas de una misma frecuencia pueden interferirse. Un radioenlace necesita una línea de vista, y un poco de espacio alrededor, definido por la primera Zona de Fresnel, libre de obstáculos. Si el frente de onda en expansión incide en un obstáculo ocurre la difracción, es decir, el punto incidente actúa como si fuera una segunda fuente de esa onda, generando una onda difractada. Las ondas directa y difractada se suman en el receptor, pero debido a la diferencia en la longitud de trayectoria de ambas, la interferencia puede ser constructiva si ambas están en fase o destructiva si ambas están fuera de fase, es decir podrían cancelarse entre sí hasta cierto grado, produciendo el desvanecimiento de la señal.

Se llama Zona de Fresnel al volumen de espacio entre el emisor de una onda y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180° , adoptando la forma de un elipsoide de revolución. Siendo la primera zona de Fresnel aquella que abarca hasta que la fase llegue a 180° .

2.2.25 Presupuesto de Potencia

Un presupuesto de potencia para un enlace punto a punto es el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor a través de cables, conectores y el medio hacia el receptor, con la finalidad de determinar el valor aproximado de la potencia que recibirán los terminales del receptor. La estimación del valor de potencia en diferentes partes del radioenlace es necesaria para hacer el mejor diseño y elegir el equipamiento adecuado.

2.2.26 Margen de desvanecimiento

Se define como una pérdida adicional que se debe tomar en cuenta en las ya consideradas pérdidas de transmisión, en el margen de desvanecimiento se están considerando las pérdidas intermitentes en la intensidad de la señal provocadas por

perturbaciones meteorológicas, como la lluvia, nieve, trayectos múltiples de transmisión y por la superficie irregular de la Tierra que afectan la propagación de las ondas electromagnéticas. El margen de desvanecimiento se incluye en la ecuación de ganancia del sistema para considerar características no ideales y no tan predecibles en la propagación de ondas de radio. Además el margen de desvanecimiento nos permite tener en cuenta los objetivos de confiabilidad del sistema.

2.3 Bases Legales

2.3.1 Recomendación UIT-R P.676-11. (09/2016). Atenuación debida a los gases atmosféricos.

La presente Recomendación define métodos para evaluar la atenuación causada por los gases atmosféricos en trayectos terrenales y oblicuos mediante: a) una estimación de la atenuación causada por los gases, cuyo cálculo se efectúa mediante la suma de las rayas de absorción individuales, válida para la gama de frecuencias 1-1 000 GHz; y b) un método aproximado simplificado para evaluar la atenuación debida a los gases aplicable en la gama de frecuencias 1-350 GHz.

2.3.2 Recomendación UIT-R P.530-17. (12/2017). Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa.

Por su parte, en esta Recomendación se proporcionan métodos de predicción para los efectos de propagación que deben tenerse en cuenta de cara al diseño de enlaces fijos digitales con visibilidad directa, tanto en condiciones de cielo despejado como con lluvia. También se proporcionan orientaciones para el diseño de enlaces mediante procedimientos bien definidos paso a paso, incluyendo la utilización de técnicas de reducción de la interferencia con objeto de minimizar las degradaciones de propagación. La interrupción final prevista es la base para otras Recomendaciones sobre características de error y disponibilidad.

2.3.3 Recomendación UIT-R P.833-9. (09/2016). Atenuación debida a la vegetación.

En esta Recomendación se presentan varios modelos que permitirán al lector evaluar el efecto de la vegetación en las señales de ondas radioeléctricas. Se presentan modelos aplicables a diversos tipos de vegetación para varias geometrías de trayecto adaptadas para calcular la atenuación de las señales que pasan a través de la vegetación. La Recomendación contiene también datos medidos de la dinámica del desvanecimiento debido a la vegetación y características de la dispersión del retardo.

2.3.4 Recomendación UIT-R P.341-7. (08/2019) Noción de pérdidas de transmisión en los enlaces radioeléctricos

Por otro lado, en la Recomendación UIT-R P.341-7 se facilitan las definiciones y notaciones que han de utilizarse para caracterizar un enlace radioeléctrico, en el que intervienen un transmisor, un receptor, sus antenas, los circuitos asociados y el medio de propagación.

2.3.5 Recomendación UIT-R P.834-7(10/2015) Efectos de la refracción troposférica sobre la propagación de las ondas radioeléctricas

Esta Recomendación presenta métodos para calcular los efectos de la refractividad a gran escala en la atmósfera, incluyendo la curvatura de los rayos, las capas de conducción, el radio ficticio de la Tierra, los ángulos de elevación y de puntería aparente en los trayectos Tierra-espacio y la longitud del trayecto radioeléctrico ficticio.

2.4 Definición de Términos

Atenuación: Disminución de la intensidad, la importancia o el valor de un hecho o de un suceso.

Emisor: Es todo organismo, aparato, máquina o persona que recibe estímulos, energías, señales o mensajes.

Entorno de desarrollo integrado (IDE): Sistema de software para el diseño de aplicaciones que combina herramientas del desarrollador comunes en una sola interfaz gráfica de usuario (GUI).

Frecuencias: Es la medida del número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo.

Hardware: Conjunto de componentes físicos de los que está hecho el equipo y software es el conjunto de programas o aplicaciones, instrucciones y reglas informáticas que hacen posible el funcionamiento del equipo.

Interfaz gráfica de usuario (GUI): Es un programa informático que actúa de interfaz de usuario, utilizando un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles en la interfaz.

Modelos Digitales de Elevación (MDE): Es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

Polarización: Proceso por el cual en un conjunto se establecen características que determinan la aparición en él de dos o más zonas, los polos, que se consideran opuestos respecto a una cierta propiedad, quedando el conjunto en un estado llamado estado polarizado.

Receptor: Es el agente (persona o equipo) que recibe el mensaje, señal o código emitido por un emisor, transmisor o enunciante; es el destinatario que recibe la información.

Reflexión: Cambio de dirección o de sentido de la luz, del calor o del sonido cuando se les interpone un obstáculo.

Software: Soporte lógico al sistema formal de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos que son llamados hardware.

Transceptor: Módulo de transmisor / receptor. Estos dispositivos (opto) electrónicos permiten la transmisión de datos a través de cables de cobre y fibra.

Transmisión: Es el traspaso de energía, ondas o información desde un punto de inicio hacia un punto de llegada diferente, pudiendo alterarse o no aquello que es transmitido en el recorrido.

Troposfera: Es la capa más delgada del conjunto de las capas de la atmósfera. La temperatura en la tropósfera desciende a razón de aproximadamente 6,5 °C por kilómetro de altura, por encima de los 2000 metros de altura.

Zona Fresnel: Volumen de energía finito entre un emisor y un receptor.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Arias (2016) define el marco metodológico como el “Conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas” (p.16). En otras palabras, es la descripción de los pasos, técnicas y procedimientos implementados en el desarrollo de la investigación, para lograr los objetivos planteados.

3.1 Tipo de Investigación

Considerando los objetivos del presente proyecto investigativo, este se categorizó como un proyecto especial, debido a que este busca el diseño de un software con Interfaz gráfica, para el cálculo de radioenlace de microondas punto a punto en el territorio venezolano, con el fin de ser implementado para diseños de radioenlace como herramienta de cálculo, de esta manera logrando que el desarrollo de un proyecto de esta clase logre tenga un proceso más eficiente.

Rodríguez-Noriega et al (2010), define el proyecto especial como: “dirigido a idear, desarrollar y elaborar prototipos. El prototipo es un modelo original sobre el cual se materializa un nuevo patrón y del cual se derivan representaciones o copias del mismo tipo” (p. 78). Se categorizó el proyecto de esta manera debido a que su objetivo general, es la propuesta de diseñar un software con Interfaz gráfica, mediante el cálculo de radioenlace de microondas punto a punto. En otras palabras, este proyecto se enfocó en el diseño, construcción y demostración del mismo.

3.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación se refiere a la estrategia y métodos que fue implementado para así obtener la información necesaria para realizar el proyecto, generalmente estos se clasifican en experimental. Según Rodríguez-Noriega et al (2010) una investigación experimental se caracteriza fundamentalmente por recabar

datos para formular, ampliar y evaluar la teoría. Otras características puntuales como ampliar las fronteras del conocimiento, con aplicaciones prácticas y se fundamenta en la necesidad de resolver un problema (p.77). Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos, acorde a la definición dada esta investigación acopió material de diferentes fuentes para desarrollo del software.

3.3 Nivel de la Investigación

Cuando se habla del nivel de investigación se refiere a qué nivel se va a elaborar el proyecto, y con cuantos datos este pudo ser catalogado completo. En otras palabras, es la profundidad con la que se lleva a cabo el estudio, esta puede ser categorizada en un nivel descriptivo, explicativo o exploratorio. Tamayo y Tamayo (2012) describen la investigación descriptiva de la siguiente manera:

Comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. El enfoque que se hace sobre conclusiones es dominante, o como una persona, grupo o cosa, conduce a funciones en el presente. La investigación descriptiva trabaja sobre las realidades de los hechos y sus características fundamentales es de presentarnos una interpretación correcta. (p.54).

Teniendo esta definición, se puede decir que el proyecto de investigación es de nivel descriptivo, debido a que buscó analizar y describir múltiples variables que intervienen en el proceso de cálculo de un radioenlace.

3.4 Población y Muestra

Tamayo y Tamayo, (2012) definen la población como “La totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación” (p.114). En este sentido, la población está formada por la información dada por el modelo digital de elevación que contiene los datos topográficos de forma digital para ser analizado por el software.

Por otra parte, la muestra es aquel sector de la población que se escoge para realizar la investigación, esperando que los resultados encontradas a través de ella representen la población de estudio. Tamayo y Tamayo, (2012) establece que la

muestra constituye, solo una parte del conjunto total de población y es poseedora de sus propias características. Esta será elegida tomando en cuenta la extensión del área a estudiar. Teniendo esto en consideración la zona estudiada será Venezuela, la cual cumple con los requerimientos de la investigación para ser considerada la muestra en este estudio.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Investigación

Arias (2016) define las técnicas de recolección de datos como “el procedimiento y forma particular de obtener datos e información.”. Mientras que el instrumento, definido por Arias (2016) viene a estar constituido por “los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información.” (p.53). En este sentido, es cualquier recurso, dispositivo o formato que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información. Esta es una parte fundamental de la investigación debido a que otorga la información necesaria para lograr el objetivo, dichos datos serán recolectados de la muestra ya seleccionada de la población. Algunos ejemplos de los métodos utilizados para lograr esta meta son la entrevista, la encuesta, la observación directa y la revisión documental.

Teniendo esto en cuenta, en la presente sección se describe las técnicas aplicadas en el cumplimiento de los objetivos específicos con sus respectivos instrumentos.

3.5.1 Técnicas de Recolección de Datos

Es el medio por el cual el investigador facilita la recolección de datos. Siendo así las distintas formas de obtener la información necesaria para realizar un estudio. De este modo, Hurtado, J. (2010), concluye que:

Los aspectos metodológicos se desarrollan a lo largo del marco metodológico y se evidencian en las técnicas utilizadas para la recolección de datos y para el análisis de resultados... Las técnicas son modos específicos de hacer algo. Por ejemplo, algunas técnicas de recolección de datos son la entrevista y la observación”. (p. 105 y 110).

3.5.1.1 Revisión Documental

Arias (2016), define la investigación documental como: “Una técnica que consiste en la selección y compilación de información a través de la lectura y crítica de documentos y materiales bibliográficos, bibliotecas, bibliotecas de periódicos, centros de documentación e información”. Por lo tanto, es la obtención de información a través del estudio y lectura de documentos impresos, usualmente siendo esta los resultados obtenidos en dichos documentos. Se utilizaron textos referentes al diseño de software para cálculo de radioenlaces, manipulación del entorno de desarrollo, así como los resultados obtenidos de la aplicación. Esto con la meta de evitar cometer errores similares durante su concepción, así como también conocer recomendaciones sobre su utilización.

3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos

Un instrumento sirve como recurso material que se relaciona con el individuo al cual se le hace el análisis. Para Arias, F. (2012), los instrumentos: “Son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información. Ejemplo: fichas, formatos de cuestionario, guía de entrevista, lista de cotejo, escalas de actitudes u opinión, grabador, cámara fotográfica o de video, etc.”. (p. 111).

3.5.2.1 Instrumento de Registro

Arias (2012), define el Instrumento de registro: “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. Estos se relacionan a cualquier medio material que se utilice para recopilar y almacenar la información requerida para la investigación. Los instrumentos utilizados en el proyecto actual son principalmente computadoras portátiles y libretas, donde se almacenó la información necesaria para iniciar la fase de diseño del proyecto.

3.6 Fases de la investigación

Fase I: “Estudio de los procedimientos actuales para el cálculo de radioenlace y los elementos que componen el sistema.”

En fase actual se buscó investigar toda la información documental con respecto a todos los elementos que intervienen en el desarrollo del proyecto, las variables que participan en el cálculo de un radioenlace, equipos o material necesario para el montaje de antenas radio transmisoras, scripts o líneas de comandos para el desarrollo del software.

Fase II: “Caracterización de las herramientas elegida para la elaboración del software, justificando así su pertinencia frente a herramientas similares.”

Para seleccionar las herramientas necesarias para este proyecto, se empezó con el estudio de entornos de desarrollo integrados capaces de realizar análisis de datos de modelos matemáticos como Python, esta clase de software exigen un alto consumo de recursos del hardware en el cual se está desarrollando por lo tanto se requiere un equipo acorde a estas exigencias.

Fase III: “Desarrollo de los algoritmos para los cálculos de pérdidas.”

Una vez que se haya recolectado la información necesaria, se seleccionó todos los algoritmos, formulas y entradas de datos. Las cuáles fueron organizadas de tal manera que permita un proceso de cálculo eficaz y confiable. Dando como respuesta un PDF con los resultados para ser analizados por un experto en el área de las telecomunicaciones.

Fase IV: “Comparación de los resultados obtenidos con otras herramientas de cálculo disponibles con prestaciones similares.”

Una vez ya habiendo obtenido un resultado exitoso de un caso de estudio simulado en la herramienta creada, se comparó los resultados obtenidos con otras alternativas gratuitas disponibles hoy en día.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Fase I: “Estudio de los procedimientos actuales para el cálculo de radioenlace y los elementos que componen el sistema.”

4.1.1 Pasos para cálculo de Radioenlaces punto a punto

Actualmente los cálculos necesarios para el desarrollo de proyectos de radioenlaces se apoyan mucho de herramientas como Radio Mobile y Google Earth para ser más eficientes en las aproximaciones respecto al estudio del terreno.

Paso 1

Estudio del terreno

Al ingresar las coordenadas previamente detalladas con ayuda de Google Earth se puede seleccionar la ubicación para cada antena.

Paso 2

Despeje

Se ingresan las coordenadas de las ubicaciones de las antenas y sus datos de altura en Radio Mobile para su análisis, dando como resultado una aproximación del perfil topográfico donde se podrá calcular si hay obstrucción en la línea de vista o en la primera zona de Fresnel.

Paso 3

Orientacion de la Antenas

Cálculo del Azimut Verdadero

Es un valor indicativo de la orientación de cada antena que compone el radioenlace denotando así la inclinación del radioenlace con referencia al norte de la Tierra, este valor viene dado en grados y es importante resaltar que hay dos Norte que pueden ser de interés, uno el geográfico (llamado también verdadero) y otro el magnético, pues entre ambos existe una desviación que se hace más o menos notoria dependiendo de la posición en que se ubique la antena.

Azi₁: Azimut de la Antena 1

Azi_2 : Azimut de la Antena 2

$long_1$: Longitud de la Coordenada 1

$long_2$: Longitud de la Coordenada 2

lat_1 : Latitud de la Coordenada 1

lat_2 : Latitud de la Coordenada 2

$$Azi_1 = \tan^{-1} \frac{long_2 - long_1}{lat_2 - lat_1}$$

Ecuación 1 Azimut Verdadero

Fuente: Inojosa, J (2021)

Azimut Magnético

En el terreno es más económico y de fácil acceso una brújula en contraparte a aparatos como GPS o parecidos, la brújula apunta al norte magnético de la tierra, por lo que es una práctica común orientar la antena en referencia al norte magnético, este se calcula a partir del azimut verdadero y la desviación (Declinación Magnética) correspondiente a la zona.

$Azim_1$: Azimut Magnético de la Antena 1

$Azim_2$: Azimut Magnético de la Antena 2

Azi_1 : Azimut de la Antena 1

Azi_2 : Azimut de la Antena 2

$$Azim_1 = Azi_1 + Desviacion$$

$$Azim_2 = Azi_2 + Desviacion$$

Ecuación 2 Azimut Magnético

Fuente: Inojosa, J (2021)

Elevación

Es un valor indicativo de la orientación de cada antena que compone el radioenlace denotando así la inclinación del radioenlace con referencia al suelo, este

valor viene dado en grados y se calcula a partir de la distancia (d) entre las antenas y la altitud de cada antena, representada de la siguiente manera:

$Elev_1$: Elevación de la Antena 1

$Elev_2$: Elevación de la Antena 2

alt_1 : Altura de la Antena 1

alt_2 : Altura de la Antena 2

$$Elev_1 = \tan^{-1} \frac{alt_2 - alt_1}{d}$$

Ecuación 3 Elevación

Fuente: Inojosa, J (2021)

Punto de Reflexión

Esta función es un cálculo para cuando toda la altura del trayecto esta al mismo nivel. Por ejemplos, 2 torres en una costa o el llano. De esta forma, para el cálculo del Punto de Reflexión (ver figura 4) se expondrá un modelo práctico como sigue a continuación:

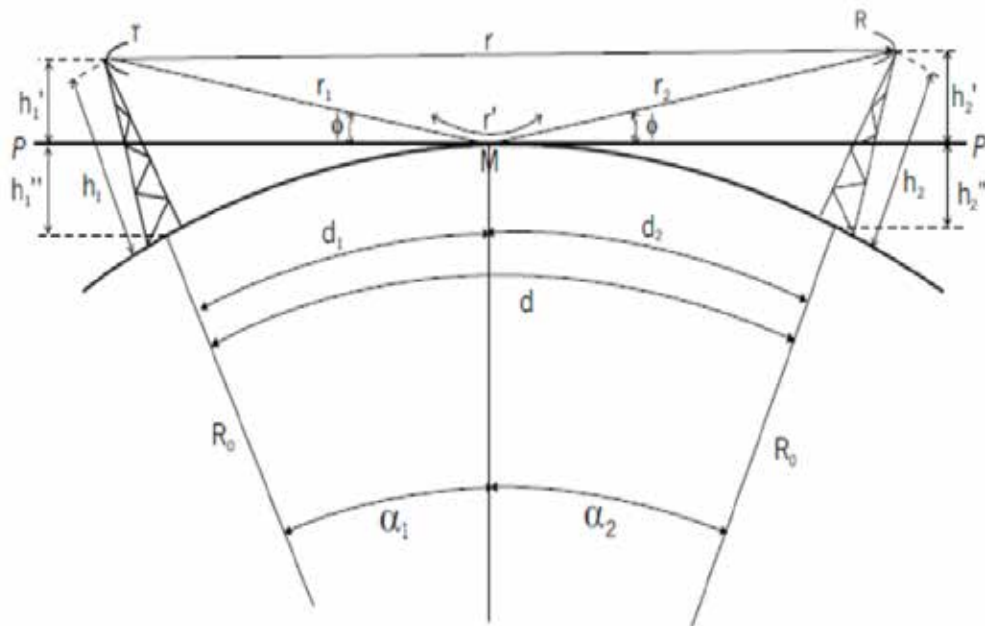


Figura 3.Punto de Reflexión

Fuente: <https://www.cursosgis.com/crear-perfiles> 1

Siendo $R_o = 6.371Km$ el Radio Ficticio de la Tierra.

$$Elev_1 = Elev_2$$

$$d_1 = \frac{d}{2} (1 + b)$$

Donde:

$$b = 2 \sqrt{\frac{m+1}{3m}} \cos \left[\frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos \left(\frac{3c}{2} \sqrt{\frac{3m}{(m+1)^3}} \right) \right]$$

$$m = \frac{d^2}{4R_o(1 + 2)} \quad c = \left| \frac{1}{1 + 2} \right|$$

Ecuación 4 Punto de Reflexión

Fuente: Inojosa, J (2021)

Se debe señalar que los ángulos de inclinación óptimos para antenas transmisoras y receptoras no serán los mismos salvo que las alturas de las antenas sobre el punto de reflexión en una superficie a lo largo del trayecto sean idénticas. El ángulo de mayor inclinación corresponde a la antena que presenta el ángulo mayor en la dirección de la reflexión por una superficie.

Paso 4

Pérdidas

Margen de Desvanecimiento

En esencia el margen de desvanecimiento es un “factor ficticio” que se incluye en la ecuación de ganancia del sistema, para tener en cuenta las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio.

$$F_m = 30 \log D + 10 \log (6ABf) - 10 \log (1 + R) - 70$$

Ecuación 5 Margen de Desvanecimiento

Fuente: Inojosa, J (2021)

Siendo:

Fm = margen de desvanecimiento (dB)

D = distancia (kilómetros)

f = frecuencia (GHz)

R = confiabilidad en decimales (es decir, 99.99% = 0.9999 de confiabilidad)

1 = R = objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 km en un sentido

A = factor de aspereza

4 sobre agua o un terreno muy liso

1 sobre terreno promedio

0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso

B = factor para convertir la probabilidad del peor de los meses en probabilidad anual

1 para convertir una disponibilidad anual a la base del peor de los meses

0.5 para áreas cálidas o húmedas

0.25 para áreas continentales promedio

0.125 para áreas muy secas o montañosas

Pérdida del Espacio Libre

Se define a las pérdidas en la trayectoria en espacio libre (a veces llamadas pérdidas por dispersión) como la pérdida incurrida por una onda electromagnética al propagarse en línea recta a través del vacío, sin energías de absorción o reflexión debidas a objetos cercanos. Las pérdidas en la trayectoria en espacio libre dependen de la frecuencia, y aumentan con la distancia. La ecuación para determinar estas pérdidas es la siguiente:

$$L_{p(dB)} = 92.4 + 20\log f_{(GHz)} + 20\log D_{(Km)}$$

Ecuación 6 Pérdida del Espacio Libre

Fuente: Inojosa, J (2021)

Donde:

Lp = pérdidas en la trayectoria en espacio libre (adimensional)

D = distancia (metros)

f = frecuencia (Hz)

Pérdida de los Cables y Guías de Onda

Calcula las pérdidas totales en dB que existen debido a los cables o guías de onda tomando como entradas la atenuación específica del cable utilizado (dB/m) y la altura de las torres.

$$\text{Pérdida de los Cables} = (P_{cg}/100) (h_1 + h_2)$$

Ecuación 7 Pérdida de los Cables

Fuente: Inojosa, J (2021)

P_{cg} = Atenuación específica del cable usado (dB/m)

h_1, h_2 = Altura a la que se encuentra cada antena (m)

Pérdida de los Conectores

Calcula las pérdidas totales en dB que existen debido a los conectores usados para permitir las conexiones de la antena con el módulo de transmisión los cuales crean una atenuación específica dependiendo del conector (dB) normalmente es una cantidad de 4 conectores para todo el sistema.

Cantidad de conectores = C_n

Atenuación del conector = A

Pérdida de los conectores = P

$$P = C_n A$$

Ecuación 8 Pérdida de los Conectores

Fuente: Inojosa, J (2021)

Pérdida de la Vegetación

Para el cálculo de las pérdidas por vegetación las variables de entrada son; la atenuación específica, la distancia del recorrido sobre la vegetación donde se contemplan 2 casos de los cuales se hace selección mediante la variable (cubierta).

Cubierta = 0 (ninguna de las antenas se encuentra inmersa en la vegetación).

$$L_{veg} = A_{veg} d_{veg}$$

Ecuación 9 Pérdida de la Vegetación

Fuente: Inojosa, J (2021)

Cubierto = 1 (una de las antenas se encuentra dentro de la zona con vegetación).

$$L_{veg} = (A_{veg} d_{veg}) \left(1 - \frac{d_{veg}}{d}\right)$$

Ecuación 10 Pérdida de la Vegetación (Cubierto)

Fuente: Inojosa, J (2021)

Aveg = Atenuación específica (dB/m)

dveg = Distancia del trayecto boscoso (m)

d = El valor de la distancia del radioenlace (m)

Paso 5

Ganancia del Sistema

En su forma más sencilla, la ganancia del sistema es la diferencia entre la potencia nominal de salida de un transmisor, y la potencia de entrada mínima requerida por un receptor. La ganancia del sistema debe ser mayor o igual a la suma de todas las ganancias y pérdidas incurridas por una señal al propagarse de un transmisor a un receptor. En esencia, representa la pérdida neta de un sistema de radio. La ganancia del sistema se usa para calcular la confiabilidad de un sistema para determinados parámetros del mismo. La ecuación de la ganancia del sistema es:

$$G_s = P_t - C_{min}$$

Ecuación 11 Ganancia del Sistema

Fuente: Inojosa, J (2021)

Donde:

Gs = ganancia del sistema (dB)

Pt = potencia de salida del transmisor (dBm)

$C_{mín}$ = potencia mínima de entrada al receptor para determinado objetivo de calidad (dBm)

Paso 6

Ganancia de las Pérdidas

Ganancia de las pérdidas = Pérdida en el espacio libre + Pérdida de los Cables
+ Pérdida de los conectores + Pérdida de la Vegetación
Ganancia TX Ganancia RX

Ecuación 12 Ganancia de las Pérdidas

Fuente: Inojosa, J (2021)

Paso 7

Finalmente se requiere comprobar si la potencia de la señal recibida está por encima de la sensibilidad del dicho receptor para que la transmisión sea estable.

Viabilidad del Sistema

Condición para que el sistema sea viable:

Ganancia del Sistema

Margen de Desvanecimiento + Ganancias de las pérdidas

Ecuación 13 Viabilidad del Sistema

Fuente: Inojosa, J (2021)

Si la condición se cumple será una aproximación fiable de que el sistema funcionará de forma estable.

4.1.2 Cálculos

Algoritmo para cálculo de radioenlace

Adquisición de datos

COORDENADAS: Dadas en grados decimales.

Antena Transmisora = LatT = 10.50847° / LonT = - 66.88328°

Antena Receptora = LatR = 10.52803° / LonR = - 66.87772°

Declinacion Magnetica = 12.45°

Frecuencia de Transmisión = 4 GHz.

Potencia de transmisión = 20 dBm

Cmin = - 90 dBm

ALTURAS DE ANTENAS:

Altura de la antena transmisora = 20mts

Altura de la antena receptora = 40mts

ATENUACIÓN DE LÍNEA DE TRANSMISIÓN:

Guía de onda de la antena transmisora = 0,4dB /100mts

Guía de onda de la antena receptora = 0,4dB /100mts

Perdidas por conectores = 0,5 dB / conector

Factor de rugosidad: A= 1

Condición climática: B= 1

Confiabilidad: R= 99,999%

Atenuación Especifica por Vegetación = 0.6 dB Km

Recorrido de la Vegetación = 0.5 Km

Antenas Descubiertas (Fuera de la Vegetación)

GANANCIAS ANTENAS:

Ganancia de la antena transmisora = 30 dBi

Ganancia de la antena Receptora = 30 dBi

Paso 1 (Estudio del terreno)

Se ubica las posiciones de las antenas.

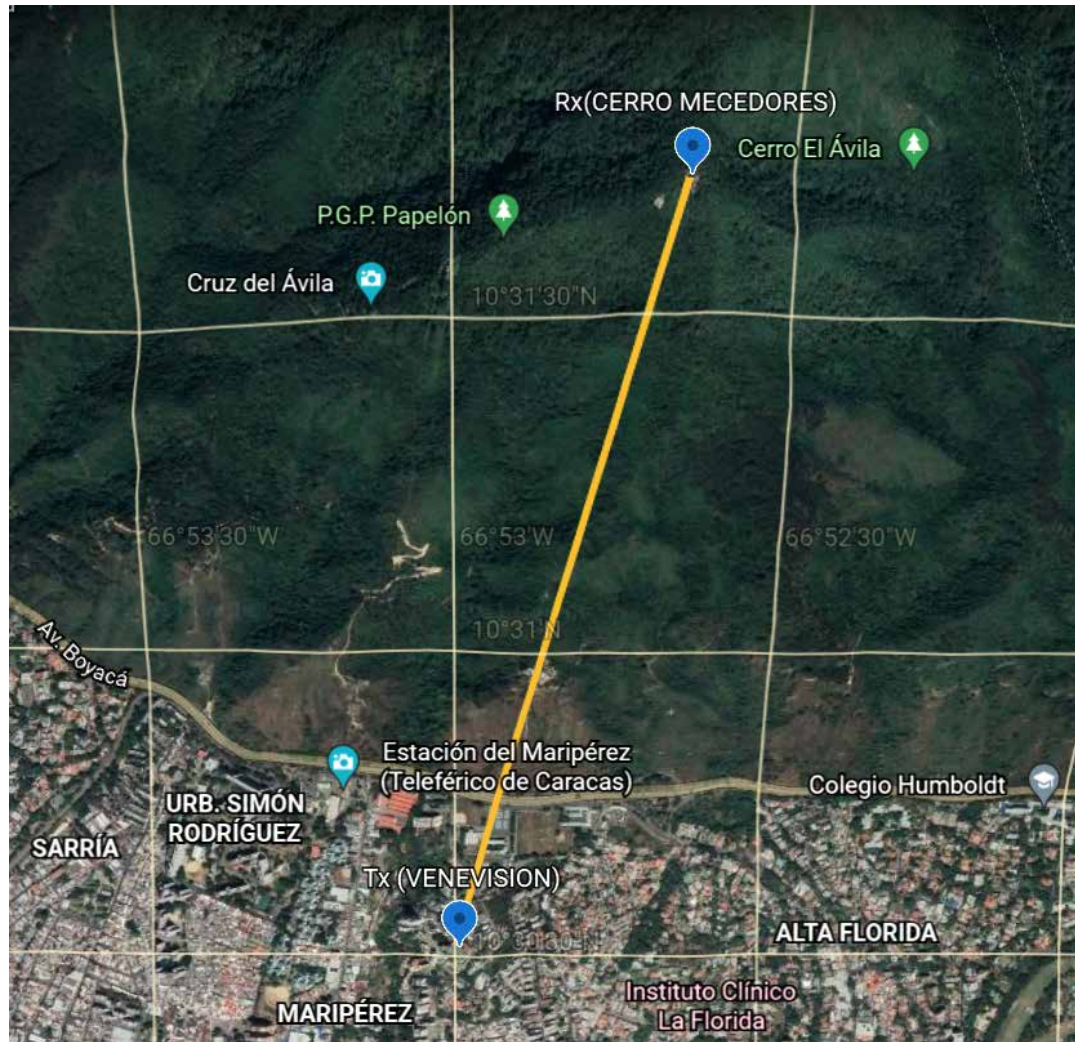
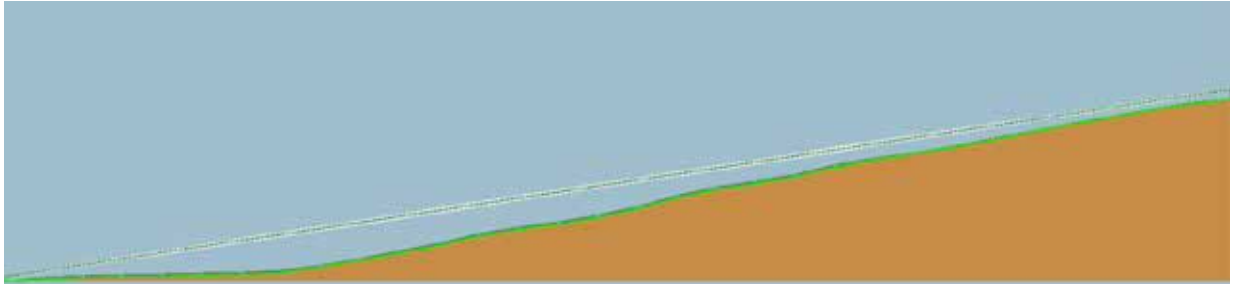


Imagen satelital en Google Earth con las ubicaciones de los sitios de transmisión y de recepción.

Paso 2 (Despeje)

Ingresando los datos en Radio Mobile se obtiene Perfil Topográfico, Zona de Fresnel y Distancia en Km entre las antenas.



Perfil Topografico con zona fresnel de Radio Mobile

Distancia entre las antenas = 2.26 km

Paso 3 (Orientacion de la Antenas)

- **Calculo del Azimut verdadero**

$$Azi_1 = \tan^{-1} \frac{long_2 - long_1}{lat_2 - lat_1}$$

$$Azi_1 = \tan^{-1} \frac{66.87772 - 66.88328}{10.52803 - 10.50847} = \tan^{-1} \frac{0,01956}{0,00556}$$

$$Azi_1 = \frac{0.2769 \text{ rad} \cdot 180^\circ}{\pi \text{ rad}} = 15.867^\circ$$

$$Azi_2 = 15.867^\circ + 180^\circ = 195.867^\circ$$

- **Azimut Magnético**

$$Azim_1 = Azi_1 + Desviacion$$

$$Azim_2 = Azi_2 + Desviacion$$

$$Azim_1 = 15.867^\circ + 12.45^\circ = 28.317^\circ$$

$$Azim_2 = 195.867^\circ + 12.45^\circ = 208.317^\circ$$

Paso 4 (Perdidas)

Margen de Desvanecimiento

$$F_m = 30 \log D + 10 \log (6ABf) - 10 \log (1 - R) - 70$$

$$F_m = 30 \log (2.26) + 10 \log (6(1)(1)(4)) - 10 \log (1 - 99.999) - 70$$

$$F_m = 15.321 \text{ dB}$$

Perdida del espacio libre

$$L_{p(dB)} = 92.4 + 20\log f_{(GHz)} + 20\log D_{(Km)}$$

$$L_{p(dB)} = 92.4 + 20\log (4) + 20\log (2.26)$$

$$L_{p(dB)} = 111.523 \text{ dB}$$

Perdida de los Cables

$$\text{Perdida de los Cables} = (P_{cg}/100) (h_1 + h_2)$$

$$\text{Perdida de los Cables} = (0.4/100) (20 + 40)$$

$$\text{Perdida de los Cables} = 0.24\text{dB}$$

Perdida de los Conectores

$$P = C_n A$$

$$P = 4 \cdot 0.5$$

$$P = 2 \text{ dB}$$

Perdida de la Vegetación

Cubierto = 0 (ninguna de las antenas se encuentra inmersa en la vegetación).

$$L_{veg} = A_{veg} d_{veg}$$

$$L_{veg} = 0.6 \cdot 0.5$$

$$L_{veg} = 0.3 \text{ dB}$$

Paso 5 (Ganancia del Sistema)

$$G_s = P_t - C_{min}$$

$$G_s = 30 - (90)$$

$$G_s = 110 \text{ dB}$$

Paso 6 (Ganancia de las Pérdidas)

Ganancia de las pérdidas = Perdida en el espacio libre + Perdida de los Cables

+ Perdida de los conectores + Perdida de la Vegetación

Ganancia TX - Ganancia RX

$$\text{Ganancia de las pérdidas} = 111.523 + 0.24 + 2 + 0.3 - 30 - 30$$

$$\text{Ganancia de las pérdidas} = 54.063 \text{ dB}$$

Paso 7

Finalmente se requiere comprobar si la potencia de la señal recibida está por encima de la sensibilidad del dicho receptor para que la transmisión sea estable.

Viabilidad del Sistema

Condición para que el sistema sea viable:

Ganancia del Sistema

$$\begin{aligned} & \text{Margen de Desvanecimiento} + \text{Ganancias de las pérdidas} \\ \text{Ganancia del Sistema} &= 15.321 + 54.063 \\ 110 \text{ dB} &= 69.384 \text{ dB} \end{aligned}$$

El sistema es viable con una potencia recibida por el receptor de 49.384 dB .

4.2 Fase II: “Caracterizar las herramientas elegida para la elaboración del software, justificando así su pertinencia frente a herramientas similares.”

4.2.1 Caracterización de las herramientas para la elaboración del software

Para el desarrollo de la fase II el cual es caracterizar las herramientas elegidas para la elaboración del software se estudiaron las ventajas y desventajas de otros tipos de programas para la aplicación del cálculo del radioenlace con el fin de comparar cual es el software adecuado.

Los lenguajes de programación son el medio que permite a los programadores expresar las instrucciones que la computadora va a realizar mediante la transformación de los algoritmos en una serie de sentencias. Una herramienta de desarrollo de software es un programa informático que usa un programador para crear, depurar, gestionar o mantener un programa. Los lenguajes de programación son herramientas que nos permiten crear programas que controlen el comportamiento físico y lógico de una máquina, para expresar algoritmos con precisión, o como modo de comunicación

humana, es decir, es un conjunto de instrucciones que se utiliza para el procesamiento en un ordenador. (Ver figura 5)



Figura 4. Características de los softwares de programación

Fuente:https://entrenamiento-python-basico.readthedocs.io/es/latest/leccion1/ventajas_desventajas.html

Las ventajas y desventajas de usar herramientas de programación son las siguientes:

Ventajas:

- Mejorar la habilidad para desarrollar Algoritmos Eficaces.
- Mejorar el uso del Lenguaje de Programación disponible.
- Ampliar las posibilidades de solución de un problema.
- Permitir una mejor elección del Lenguaje de programación.
- Facilitar el aprendizaje de un nuevo lenguaje.

Desventajas:

- Imposibilidad de escribir código independiente de la máquina.
- Si se hacen mal los esquemas no se podrán detectar los errores.
- Mayor dificultad en la programación y en la comprensión de los programas.
- Tener un buen conocimiento de lo que se quiere hacer en el diagrama de flujo.

A continuación, se estarán nombrando los lenguajes de programación disponibles para el desarrollo del proyecto de grado.

- **PHP:** Es un lenguaje de programación de uso general de código del lado del servidor originalmente diseñado para el desarrollo web de contenido dinámico. Orientado al desarrollo de aplicaciones web dinámicas con acceso a información almacenada en una base de datos. Uno de los inconvenientes es que es un lenguaje que se interpreta en ejecución, para ciertos usos puede resultar un inconveniente que el código fuente no pueda ser ocultad.
- **PowerBuilder:** Es una herramienta de desarrollo de clase empresarial desarrollada por la empresa Sybase. PowerBuilder es orientada a objetos y permite el desarrollo de diferentes tipos de aplicaciones y componentes para ejecutar arquitecturas cliente/servidor, distribuidas y Web.
- **Java:** es un lenguaje de programación de propósito general, concurrente, basado en clases, y orientado a objetos. Es una plataforma independiente pero tiene un problema de fugas de memoria.
- **C++:** Los objetos en C++ son abstraídos mediante una clase. Según el paradigma de la programación orientada a objetos, un objeto consta de: identidad que lo diferencia de otros objetos (nombre que llevara la clase a la que pertenece dicho objeto), métodos o funciones y atributos o variables.
- **HTML:** HTML siglas de HyperText Markup Language, hace referencia al lenguaje de marcado predominante para la elaboración de páginas web que se utiliza para describir y traducir la estructura y la información en forma de texto. Se escribe en forma de «etiquetas», rodeadas por corchetes angulares (). HTML también puede describir, hasta un cierto punto, la apariencia de un documento, y puede incluir un script (por ejemplo, JavaScript), el cual puede afectar el comportamiento de navegadores web y otros procesadores de HTML.
- **Visual Studio:** Es un entorno de desarrollo integrado para sistemas operativos Windows. Soporta varios lenguajes de programación tales como Visual C++, Visual C#, Visual J#, y Visual Basic .NET, al igual que entornos de desarrollo web como ASP.NET. Aunque actualmente se han desarrollado las extensiones

necesarias para muchos otros. Permite a los desarrolladores crear aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET.

A continuación se estará presentado el siguiente cuadro en el cual se estarán evaluando las ventajas y desventajas de los software antes mencionados frente a la herramienta de desarrollo Python.

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de herramientas de software

Software	Ventajas	Desventajas
Visual Basic	<ul style="list-style-type: none"> - Es uno de los lenguajes más utilizados, así que es muy sencillo encontrar información, documentación y fuentes para los proyectos. - Tiene acceso a casi toda la API de Windows y puede usar la plataforma de sistemas Windows. - Añade soporte para ejecutar scripts en las aplicaciones con VBScript o JScript, gracias a Microsoft Script Control.7. - Al ser de Windows, integra su diseño e implementación de formularios. 	<ul style="list-style-type: none"> - En sus librerías Runtime.dll, tiene problemas de versionado. - Pese a ser una programación orientada a objetos, tiene un soporte escaso. - Para crear aplicaciones multihilo, es necesario realizar llamadas a la API de Windows.
Java	<ul style="list-style-type: none"> - Es extensible - El analizador es un componente estándar. Transformamos datos en información. - Al ser de Windows, integra su diseño e implementación de formularios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pese a ser una programación orientada a objetos, tiene un soporte escaso.
Python	<ul style="list-style-type: none"> - Simple y rápido. - Elegante y flexible. - Programación sana y productiva. - Lenguaje y orden de programación. 	<ul style="list-style-type: none"> - La programación no es tan sencilla. - Librerías incluidas no son de gusto a los usuarios.

- Software libre.	
-------------------	--

Fuente: Inojosa,J (2021)

Entonces para el desarrollo de este trabajo de grado se escogió la realización del programa del cálculo del radioenlace en el lenguaje Python debido a que una de las ventajas más importantes reside en que es un software libre de programación y que desarrollar la misma en él es mucho más ordenado que los otros evaluados. Por otro lado el desarrollo del programa en el software Python también permite simulaciones aproximadas a valores reales, simulación en tiempo real, variedad de bibliotecas disponible y simulación de rango de frecuencia altos.

4.2.2 Software de Programación Python

Es un lenguaje de alto nivel ya que contiene implícitas algunas estructuras de datos como listas, diccionarios, conjuntos y tuplas, que permiten realizar algunas tareas complejas en pocas líneas de código y de manera legible. Este lenguaje de programación es de propósito general muy poderoso y flexible, a la vez que sencillo y fácil de aprender. Es un lenguaje de alto nivel, que permite procesar fácilmente todo tipo de estructuras de datos, tanto numéricos como de texto.

4.2.2.1 Características del Python

Características del lenguaje de programación Python:

- Es un lenguaje interpretado (no se compila el código antes de su ejecución) que usa tipado dinámico (los objetos en tiempo de ejecución tienen un tipo), fuertemente tipado (el tipo de valor no cambia repentinamente).
- Es multiplataforma: hace ejecutable su código fuente entre varios sistemas operativos.
- Es multiparadigma: soporta programación estructurada, orientada a objetos, imperativa y funcional, aunque esta última en menor medida.
- Su formato de código es estructural, por ejemplo, la indentación.

Python se desarrolla bajo una licencia de Open source o código abierto aprobada por OSI, por lo que se puede usar y distribuir libremente, incluso para uso comercial.

Tanto la biblioteca estándar de Python como los módulos aportados por la comunidad permiten infinitas posibilidades. Para nuestro Proyecto se emplearon las Sigüientes Bibliotecas:

- **Científico y numérico**

Python se usa ampliamente en computación científica y numérica:

- SciPy es una colección de paquetes para matemáticas, ciencias e ingeniería.
- Pandas es una biblioteca de análisis y modelado de datos.
- IPython es un potente shell interactivo que permite editar y grabar fácilmente una sesión de trabajo y admite visualizaciones y computación paralela.

- **GUI de escritorio**

La biblioteca Tk GUI se incluye con la mayoría de las distribuciones binarias de Python.

Algunos kits de herramientas que se pueden utilizar en varias plataformas están disponibles por separado:

- WXWidgets
- Kivy para escribir aplicaciones multitáctiles.
- Qt a través de pyqt o pyside

Los kits de herramientas específicos de la plataforma también están disponibles:

- GTK +
- Microsoft Foundation Classes a través de las extensiones win32

4.2.2.2 Ventajas y desventajas de Python

A continuación se presentan las ventajas del lenguaje Python. Estas son algunas de las razones por las que el dicho lenguaje se ha hecho tan popular en los últimos años:

Ventajas

- Simplificado y rápido
- Elegante y flexible

- Ordenado y limpio: lo hace muy legible y los módulos están muy bien organizados.
- Cualquier programador puede leer y trabajar sobre el programa escrito en Python.
- Portable: ya sea en Mac, Windows, Linux, etc.
- Rapidez de desarrollo
- Gran cantidad de librerías, tipos de datos y funciones incorporadas en el propio lenguaje
- Es gratuito, incluso para propósitos empresariales.

Desventajas

La principal desventaja de este lenguaje es:

- La mayoría de los servidores no tienen soporte a Python, y en caso de tener soporte, la configuración es un poco compleja.

4.2.2.3 Hardware Utilizado para su Implementación y desarrollo

A lo largo de la realización de una investigación es necesario recurrir a la utilización de diferentes recursos materiales, siendo en este caso: dispositivos móviles y ordenadores portátiles.

Detallando los Instrumentos Utilizados:

Tabla 2. Hardware para el desarrollo del programa

Nombre del dispositivo:	DESKTOP-NNEHCP8
Procesador:	Intel(R) Core(TM) i7-8650U CPU @ 1.90GHz 2.11 GHz
RAM instalada:	16,0 GB (13,9 GB usable)
Identificador de dispositivo:	1E3ED003-4CBE-4165-8FCC-F65A71AA9E34
Id. del producto:	00326-10000-00000-AA223

Tipo de sistema:	Sistema operativo de 64 bits, procesador basado en x64
-------------------------	--

Fuente: Inojosa, J (2021)

4.3 Fase III: “Desarrollo de los algoritmos para los cálculos de pérdidas.”

Para la fase III de este trabajo de grado se realizó el desarrollo de los algoritmos para los cálculos de pérdidas usando el programa Python, de esta manera se construyó un código en el que se implementaron un gran número de fórmulas y algoritmos matemáticos vistos con anterioridad (Ver fase I) y así obtener una gran precisión en los resultados. Cabe destacar que en este software de programación posee una herramienta potente de diseño gráfico y su interfaz gráfica que también serán empleadas en este trabajo de grado.

4.3.1 Descripción de la Programación

Para el desarrollo de la programación para la aplicación del cálculo del radio enlace se planteó el siguiente diagrama de flujo (ver figura 6), el cual explica que primeramente se necesitan la declaración de las librerías que se estarán utilizando para el desarrollo de este programa, seguidamente necesitamos que el usuario incorpore como mínimo parámetros de entradas necesarios como altura de la antena transmisora y receptora, latitud, longitud, frecuencia entre otros. Después de haber leído los datos necesarios para el cálculo de radio enlace hace el llamado a las funciones necesarias para este cálculo como: función de coordenadas, función de transformación, función de línea de vista entre otras. Y por último imprime los parámetros de los resultados diseña el perfil topográfico e imprime los valores en un PDF que crea el programa.

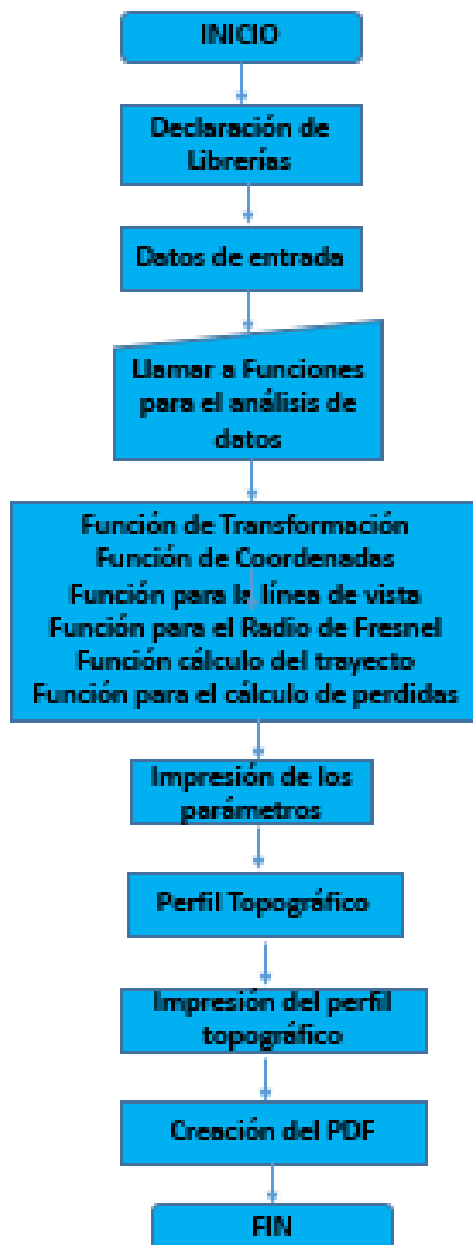


Figura 5. Diagrama de flujo
Fuente: Inojosa, J (2021)

4.3.1.1 Librerías utilizadas en Python

En la siguiente figura se puede observar todas las librerías que utilizaron para el desarrollo del programa del cálculo del radioenlace.

```

-----
#=====Importar Librerías=====
=====
import time
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import time
import os
from numpy.core.fromnumeric import size
from tkinter import *
from tkinter import ttk
from matplotlib import *
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
from matplotlib.figure import Figure
from functools import partial
from tkinter import messagebox
from reportlab.pdfgen import canvas
from reportlab.lib.pagesizes import A4
from reportlab.lib.utils import ImageReader

```

Figura 6. Librerías Python

Fuente: Inojosa, J (2021)

4.3.1.2 Funciones para el análisis de datos utilizadas en Python

Función inserción de datos

Con los datos obtenidos por el usuario se fueron guardando en variables ya previamente creadas las cuales son necesarias para el cálculo del radioenlace, en la siguiente imagen se puede observar el código para tomar los valores iniciales.

```

# Funciones para Análisis de Datos
def importar_DEM(archivo):
    data = np.loadtxt(archivo, usecols=np.arange(1,2), max_rows=6)
    ncols = data[0]
    nrows = data[1]
    xllcorner = data[2]
    yllcorner = data[3]
    cellsize = data[4]
    no_data = data[5]
    M = np.loadtxt(archivo, skiprows=6)
    return ncols, nrows, xllcorner, yllcorner, cellsize, no_data, M

```

Figura 7. Función para el análisis de datos

Fuente: Inojosa, J (2021)

Función de transformación de grados y de coordenadas

Luego de tomar los datos iniciales, es necesario realizar las transformaciones esenciales como de grados a kilómetros, y la transformación a coordenadas que este solo era utilizado para la impresión de gráfico.

```
# Funcion que transforma grados a Km
def deg2km(deg):
    radius = 6371
    circum = 2*np.pi*radius
    conv = circum / 360
    km = deg * conv
    return km

# Funcion para transformar coordenadas (solo se usan en el grafico)
def gd2gms(x):
    x = np.absolute(x)
    xg = x - x%1
    g = int(xg)
    xm = (x - xg)*60
    m = int(xm//1)
    xs = (xm - xm//1)*60
    s = round(xs,1)
    return '{}°{}'\'\'\'.format(g,m,s)
```

Figura 8. Función de transformación de grados y coordenadas
Fuente: Inojosa, J (2021)

Función de determinación de la flecha para el gráfico

En la siguiente figura se puede observar el código planteado el cual a partir del índice troposférico determinar la fecha para el grafico y se utiliza para la impresión del mismo.

```
# Funcion que determina la flecha a partir del indice troposferico y la agre-
gamos al perfil
def calculo_curvatura(vector_recorrido, vector_alturas):
    indice_k = float(EIndiceTroposferico.get())
    N = np.size(vector_recorrido)
    vector_curva = np.zeros([N],dtype=float)
    for i in range(N):
        d1 = vector_recorrido[i]
        d2 = vector_recorrido[N-1] - vector_recorrido[i]
        vector_curva[i] = (0.07849/indice_k)*(d1*d2)
    vector_alturas = np.add(vector_alturas, vector_curva)
    return vector_alturas, vector_curva
```

Figura 9. Función de la determinación para la flecha
Fuente: Inojosa, J (2021)

Función de determinación de la línea de vista y el radio de Fresnel

En la siguiente imagen se puede observar el código que fue realizado para determinar la línea de vista y el radio de fresnel, estos cálculos son de gran importancia ya que esto determina si el radioenlace es óptimo o no.

```
#Funcion que determina la línea de vista
def calculo_ldv(vector_recorrido, vector_alturas):
    h1 = float(EAlturaTX.get())
    h2 = float(EAlturaRX.get())
    N = np.size(vector_recorrido)
    alt1 = vector_alturas[0] + h1
    alt2 = vector_alturas[N-1] + h2
    delta_alt = alt2 - alt1
    pendiente = delta_alt/vector_recorrido[N-1]
    vector_ldv = alt1 + pendiente*vector_recorrido
    return vector_ldv, alt1, alt2

# Funcion que determina el radio de Fresnel
def calculo_fresnel(vector_recorrido, vector_alturas):
    h1 = float(EAlturaTX.get())
    h2 = float(EAlturaRX.get())
    frecuencia = float(EFrecuencia.get())
    N = np.size(vector_recorrido)
    frecuencia = frecuencia*1000 #MHz
```

Figura 10. Función de la determinación de la línea de vista y zona fresnel

Fuente: Inojosa, J (2021)

Función de determinar el cálculo de las pérdidas

Para calcular las pérdidas que serán previamente mostradas en la interfaz gráfica, se necesitan calcular primeramente los siguientes parámetros:

- Margen de Desvanecimiento.
- Pérdida del espacio libre.
- Pérdida de los cables.
- Pérdida de los conectores.
- Pérdida de vegetación.
- Pérdida de ganancias.

En la figura 12, 13, 14 se pueden observar los códigos planteados para el cálculo de los parámetros

```

# Margen de Desvanecimiento
def margen_desvanecimiento(distancia_km):
    proba = float(EProbabilidad.get())
    rugosidad = float(ERugosidad.get())
    frecuencia = float(EFrecuencia.get())
    confiabilidad = float(EConfiabilidad.get())
    return 30*np.log10(distancia_km) + 10*np.log10(6*rugosidad*proba*frecuen
cia) - 10*np.log10(1-confiabilidad) - 70

# perdida del espacio libre
def c_perdida_espacio_libre(distancia_km):
    frecuencia = float(EFrecuencia.get())
    return 92.45 + 20*np.log10(distancia_km) + 20*np.log10(frecuencia)

```

Figura 11. Función de la determinar el cálculo de pérdidas 1
Fuente: Inojosa, J (2021)

```

# Perdida de los Cables
def c_perdida_cable():
    h1 = float(EAlturaTX.get())
    h2 = float(EAlturaRX.get())
    atenuacion_cable = float(EAtenuacionCableado.get())
    return (atenuacion_cable/100)*(h1 + h2)

# Perdida de los Conectores
def c_perdida_conectores():
    cant_conector = float(EScanConectores.get())
    loss_conector = float(EPerdidasConectores.get())
    return loss_conector*cant_conector

def c_perdida_vegetacion(distancia_km):
    atenuacion_veg = float(EAtenuacionEspecificav.get())
    distancia_veg = float(ERecorrido.get())
    condicion_veg = OP2.get()
    if condicion_veg == 'Antenas Descubiertas':
        return atenuacion_veg*distancia_veg
    elif condicion_veg == 'Antena Cubierta':

```

Figura 12. Función de la determinar el cálculo de pérdidas 2
Fuente: Inojosa, J (2021)

```

def c_viabilidad_sistema(distancia_km, perdida_espacio_libre, perdida_cable,
perdida_conectores, perdida_vegetacion):
    potencia_t = float(EPotenciaTX.get())
    c_min_r = float(ECMiniReq.get())
    frecuencia = float(EFrecuencia.get())
    confiabilidad = float(EConfiabilidad.get())
    rugosidad = float(ERugosidad.get())
    probabilidad_anual = float(EProbabilidad.get())
    ganancia1 = float(EGananciaTX.get())
    ganancia2 = float(EGananciaRX.get())

```

Figura 13. Función de la determinar el cálculo de pérdidas 3
Fuente: Inojosa, J (2021)

Función para la ventana de cálculo

Luego de haber calculado todos los parámetros necesarios, se haya las variables para el perfil topográfico, representando el cálculo del radioenlace definiendo también la línea de vista, zona de fresnel, ganancia del sistema, puntos de reflexión entre otros.

```
# ===== Ventana de Calculo =====
def Calcular():

    # Perfil Topográfico
    def mperfil():

        LongitudTX = float(ELongitudTX.get())
        LongitudRX = float(ELongitudRX.get())
        LatitudTX = float(ELatitudTX.get())
        LatitudRX = float(ELatitudRX.get())
        vector_recorrido, vector_alturas = perfil_terreno(M,xllcorner,yllcorner,nrows,ncolumns,cellsize)
        N = np.size(vector_recorrido)
        fig = plt.figure(figsize = (8,5),dpi = 100)
        plt.fill_between(vector_recorrido, vector_alturas, 0 , facecolor='brown')

        plt.xlabel("Distancia (Km)", size = 16,)
        plt.ylabel("Altura (m)", size = 16)
        plt.title(f'Representacion del Radio Enlace \n Desde:{gd2gms(LatitudTX)},-{gd2gms(LongitudTX)} Hasta:{gd2gms(LatitudRX)},-{gd2gms(LongitudRX)}',
                  fontdict={'family': 'sans-serif'.
```

Figura 14. Función la ventana de cálculo

Fuente: Inojosa, J (2021)

Función para la creación del PDF

Por último se realiza el código para la creación del documento en PDF (Ver figura 16). El cual plantea los siguientes parámetros:

- Punto de reflexión
- Distancia entre antenas.
- Ganancia del sistema.
- Margen de desvanecimiento.
- Potencia recibida en el receptor.
- Azimut
- Elevaciones
- Representación del radioenlace en el gráfico.

```

# Representación Grafica
LongitudTX = float(ELongitudTX.get())
LongitudRX = float(ELongitudRX.get())
LatitudTX = float(ELatitudTX.get())
LatitudRX = float(ELatitudRX.get())
vector_recorrido, vector_alturas = perfil_terreno(M,xllcorner,yllcorner,nrows,cellsize)
vector_alturas, vector_curva = calculo_cuvatura(vector_recorrido, vector_alturas)
vector_ldv, alt1, alt2 = calculo_ldv(vector_recorrido, vector_alturas)
vector_fresnel, distancia_km = calculo_fresnel(vector_recorrido, vector_alturas)
N = np.size(vector_recorrido)
fig = plt.figure(figsize = (8,5),dpi = 100)
plt.plot(vector_recorrido, vector_ldv)

```

Figura 15. Función para la creación de PDF

Fuente: Inojosa, J (2021)

4.3.1.3 Diseño de la interfaz gráfica en Python

Para el diseño de la interfaz gráfica primeramente se creó una pantalla inicial el cual cuenta de tres paneles siendo estos: datos de entrada, pérdidas y margen de desvanecimiento. (Ver figura 17).

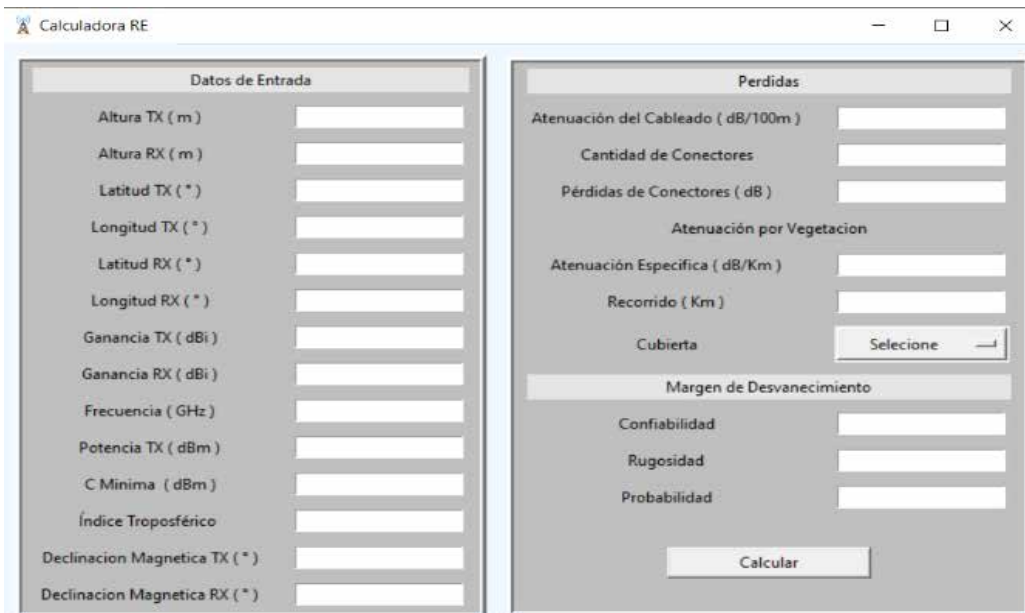


Figura 16. Diseño de la Interfaz Gráfica

Fuente: Inojosa, J (2021)

Seguidamente el usuario tiene que colocar los datos de entrada siendo estos especificados de la siguiente manera:

- Altura TX = Altura de la Antena Transmisora sobre el nivel de mar
- Altura RX = Altura de la Antena Receptora sobre el nivel de mar
- Latitud TX = Coordenadas en grados con decimales Compredidos entre (0° a 16°)
- Longitud TX = Coordenadas en grados con decimales Compredidos entre (-55° a -73°)
- Latitud RX = Coordenadas en grados con decimales Compredidos entre (0° a 16°)
- Longitud RX = Coordenadas en grados con decimales Compredidos entre (-55° a -73°)
- Ganancia TX = Ganancia de la antena Transmisora
- Ganancia RX = Ganancia de la antena Receptora
- Frecuencia = Frecuencia en la cual Trabaja el Radio enlace
- Potencia TX = Potencia de Transmicion en dBm
- Potencia Minima Requerida(C Minima Req) = Potencia Minima que el receptor trabaja.
- Indice Troposférico (k) = Añade la curvatura natural de la tierra al perfil topografico.
- Declinacion Magnetica TX
- Declinacion Magnetica RX

Finalmente el programa calculara automáticamente las perdidas y el margen de desvanecimiento siendo los siguientes parámetros especificados:

Perdidas

- Atenuación del Cableado = Atenuación del Cableado por cada 100 m suponiendo que las dos antenas usen el mismo cableado.
- Cantidad de Conectores = 4

- Perdida de los Conectores = Atenuacion especifica causada por los conectores

Atenuacion por Vegetacion

- Atenuación Especifica = Valor de la atenuacion causada por la vegetacion por km recorrido.
- Recorrido = Distancia del recorrido sobre la vegetacion
- Opciones de la Antena = Opcion de las antenas si encuentran inmersas o no en la vegetación.
- Atenuación Especifica = Atenuacion causada por la vegetacion por cada kilometro recorrido.

Margen de Desvanecimiento

- Rugosidad = factor de aspereza (4 sobre agua o un terreno muy liso, 1 sobre terreno promedio, 0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso).
- Probabilidad = factor para convertir la probabilidad del peor de los meses en probabilidad anual. (1 para convertir una disponibilidad anual a la base del peor de los meses, 0.5 para áreas cálidas o húmedas, 0.25 para áreas continentales promedio, 0.125 para áreas muy secas o montañosas).
- Confiabilidad = confiabilidad en decimales (es decir, 99.99% = 0.9999 de confiabilidad).

Luego por el último en el diseño de la interfaz gráfica se creó un botón llamado calcular el cual permite abrir la siguiente ventana donde estarán habilitados los siguientes parámetros:

Obtener Graficas: Visualizacion de las Graficas en la GUI

- Perfil Topográfico = grafica del perfil topografico entre las 2 antenas
- Linea de Vista = Representa la línea de vista en cada punto del recorrido.
- Zona de Fresnel = Representacion grafica que contiene el valor del radio para la primera Zona de Fresnel en cada punto del recorrido muestreado.

Cálculos Numéricos

- Azimut Verdadero = Valor indicativo de la orientación de cada antena que compone el radioenlace denotando así la inclinación del radioenlace con referencia al norte de la Tierra Mostrado en la tabla.
- Azimut Magnético = Una práctica común orientar la antena en referencia al norte magnético, este se calcula a partir del azimut verdadero y la desviación (desviación) correspondiente a la zona.
- Elevación = Es un valor indicativo mostrado en la tabla que de la orientación de cada antena que compone el radioenlace denotando así la inclinación del radioenlace con referencia al suelo, este valor viene dado en grados y se calcula a partir de la distancia (d) entre las antenas y la altitud
- Punto de Reflexión = Función creada con el propósito de calcular el punto de reflexión, tiene como entradas la distancia de recorrido y las alturas de las antenas. Se toma la distancia en grados para convertirla en Km y este de acuerdo a las unidades de la ecuación , después de aplicar el cálculo de Punto de Reflexión descrito anteriormente, revertimos el valor a metros.
- Ganancia del Sistema = Representa la diferencia entre la potencia nominal de salida de un transmisor, y la potencia de entrada mínima requerida por un receptor.
- Margen de Desvanecimiento = Representa un “factor ficticio” que se incluye en la ecuación de ganancia del sistema, para tener en cuenta las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio.
- Viabilidad del Sistema = Ventana Emergente donde Muestra si la potencia mínima en el receptor es suficiente para que el radioenlace trabaje de forma eficiente en caso contrario muestra la cantidad de dB flatantes
- Despeje = Ventana Emergente donde Muestra si hay obstrucción en la línea de vista y a que distancia está de la primera Antena.

- Crear PDF = Crea pdf con un resumen de la información de entrada y los cálculos de salida y la gráfica de la zona de fresnel en la misma carpeta donde está guardado el programa.

Se puede observar (ver Figura 18) la interfaz gráfica para el botón calcular el cual todos sus parámetros fueron explicados anteriormente.

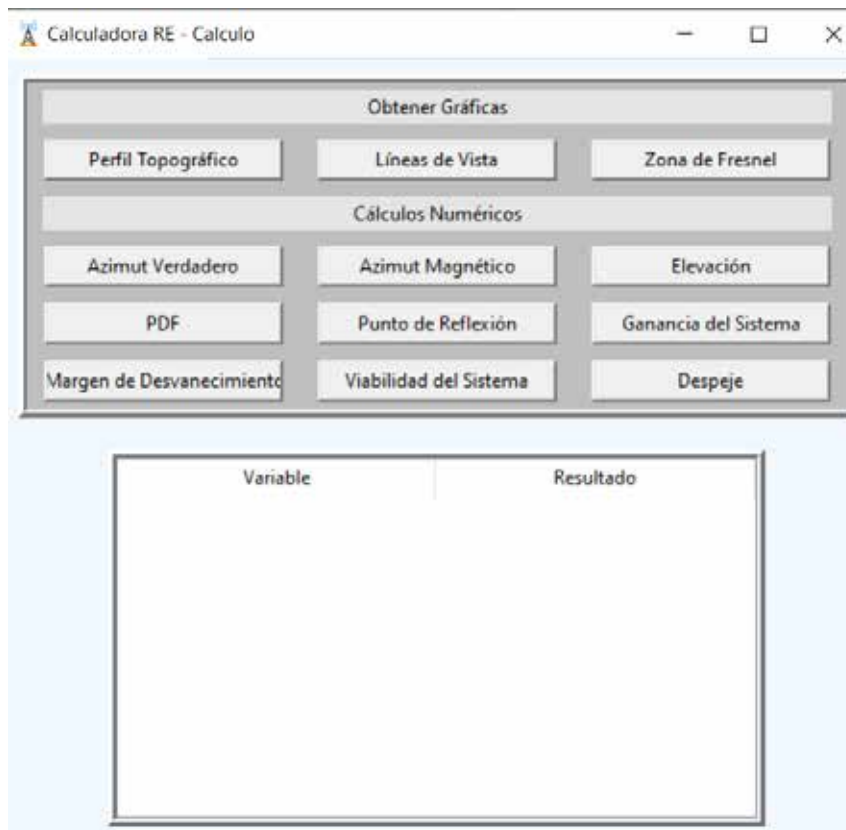


Figura 17. Diseño de la Interfaz Gráfica 2

Fuente: Inojosa, J (2021)

4.3.1.4 Simulación de la interfaz gráfica en Python

Para la simulación de la interfaz gráfica se colocaron los siguientes datos de entrada:

- Altura TX = 500
- Altura RX = 500
- Latitud TX = 10.468

- Longitud TX = -67.030
- Latitud RX = 10.162
- Longitud RX = -68.007
- Ganancia TX = 30
- Ganancia RX = 30
- Frecuencia = 2
- Potencia TX = 50
- Potencia Minima Requerida(C Minima Req) = -90
- Indice Troposférico (k) = 0.75
- Declinacion Magnetica TX = 5
- Declinacion Magnetica RX =4

Luego de haber colocado todos los parametros iniciales obtenemos las perdidas, la atenuación por vegetación y el margen de desvanecimiento de la interfaz 1. (Ver figura 19)

The screenshot shows a software window titled 'Calculadora RE' with two main panels: 'Datos de Entrada' and 'Perdidas'.

Datos de Entrada	
Altura TX (m)	500
Altura RX (m)	500
Latitud TX (°)	10.468
Longitud TX (°)	-67.030
Latitud RX (°)	10.162
Longitud RX (°)	-68.007
Ganancia TX (dBi)	30
Ganancia RX (dBi)	30
Frecuencia (GHz)	2
Potencia TX (dBm)	50
C Minima (dBm)	-90
Índice Troposférico	0.75
Declinacion Magnetica TX (°)	5
Declinacion Magnetica RX (°)	4

Perdidas	
Atenuación del Cableado (dB/100m)	0.02
Cantidad de Conectores	4
Pérdidas de Conectores (dB)	0.5
Atenuación por Vegetacion	
Atenuación Especifica (dB/Km)	0.6
Recomido (Km)	2
Cubierta	Seleccione
Margen de Desvanecimiento	
Confiabilidad	0.9999
Rugosidad	1
Probabilidad	1

At the bottom of the 'Perdidas' panel is a 'Calcular' button.

Figura 18. Simulación de la interfaz gráfica del programa desarrollado

Fuente: Inojosa, J (2021)

Luego le damos el boton calcular y podemos observar la representación grafica del radioenlace.

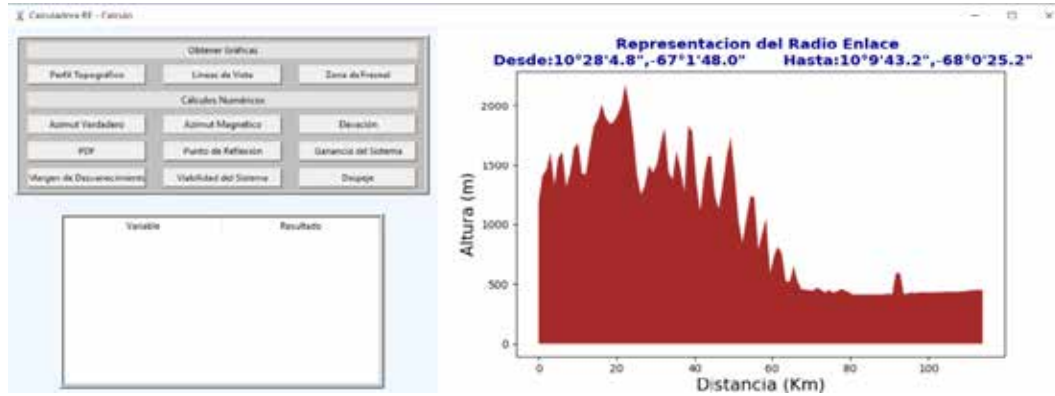


Figura 19. Simulación de la interfaz gráfica del programa desarrollado 2
Fuente: Inojosa, J (2021)

Por último se obtuvo el reporte del programa obtenido con otros parámetros de entrada demostrando así el funcionamiento completo del programa (ver figura 21 y 22).

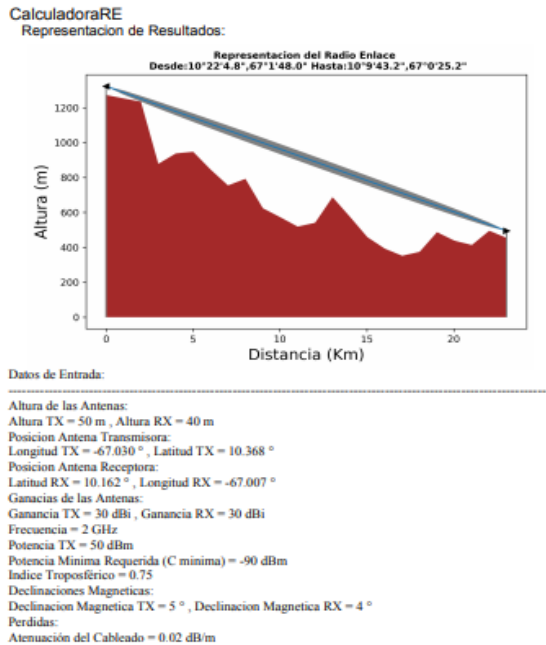


Figura 20. Reporte PDF 1
Fuente: Inojosa, J (2021)

Cantidad de Conectores = 4 , Perdida de los Conectores = 0.5 dB
Atenuación por Vegetación:
Atenuación Especifica = 0.6 dB/Km, Recorrido = 2 Km
Antenas Descubiertas
Margen de Desvanecimiento:
Rugosidad = 1
Confiabilidad = 0.9999
Probabilidad = 1

Resultados Obtenidos:

AZIMUT:
Azimut Verdadero TX = 173.629°, Azimut Verdadero RX = -6.371°
Azimut Magnetico TX = 178.629°, Azimut Magnetico RX = -2.371°
ELEVACIONES:
Elevacion TX = -0.0°, Elevacion RX = 0.0°
Punto de Reflexion = 10.675m
Distancia entre las antenas = 23.063 Km
Ganancia del Sistema = 140.0dB
Margen de Desvanecimiento = 21.68dB
Potencia Recibida en el receptor = -40.627 dB
Este radioenlace es viable con una potencia en el receptor = -40.627 dB

Figura 21. Reporte PDF 12

Fuente: Inojosa, J (2021)

4.4 Fase IV: “Comparación de los resultados obtenidos con otras herramientas de cálculo disponibles con prestaciones similares”

4.4.1 Selección de las herramientas de cálculo de radioenlace disponibles

Finalmente para el desarrollo de la fase IV el cual es la comparación de los resultados obtenidos con otras herramientas de cálculos similares, se realizó primeramente el estudio de varios programas con el fin de escoger el más adecuado para la comparación de los resultados del cálculo del radioenlace. Es importante que cuando se escoja el programa de para la comparación arroje graficas de visibilidad y variables de cálculos parecidos las variables del programa creado para verificar con exactitud la funcionalidad del mismo, de esta manera se escogieron las herramientas de programas disponibles más usadas en el campo de las telecomunicaciones.

Aquí se presentan algunos de ellos:

- **ICS Telecom de ATDI:** Software de pago profesional sobre planificación radio que permite modelar un sistema de radiocomunicaciones. Proporciona herramientas muy útiles en cualquier etapa de planificación de red, incluyendo

aspectos técnicos y de regulación. Incorpora un sistema de información geográfica (GIS) que permite trabajar con mapas de alta resolución. Cada información asociada a un proyecto está distribuida en capas que se superponen. Existen mapas de cartografía, de elementos de red, de mapas de cobertura, etc.

- **Radio Mobile:** Software de libre distribución sobre simulación de radioenlaces. Permite analizar y planificar el funcionamiento de un sistema de radiocomunicaciones fijo o móvil dentro de un rango de frecuencias determinado y para longitudes de trayecto entre 1 y 2000 km. Para esto utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos como potencia, sensibilidad, pérdidas, características de antenas, etc. Este programa trabaja con mapas satelitales tridimensionales de las zonas en las cuales se realizarán los radioenlaces.
- **LinkPlanner:** Software de libre distribución y de fácil aplicación. Basa sus cálculos en las recomendaciones de la ITU-R. Herramienta que pone el fabricante Cambium Networks a disposición de todos los usuarios interesados en sus equipos con el objetivo de que pueda evaluar qué equipo es el mejor según condiciones del tipo de aplicación, distancia, altura, frecuencias, zona de Fresnel, etc.
- **Xirio Online:** Herramienta de simulación que permite realizar de forma rápida y económica simulaciones profesionales de cobertura radioeléctrica tanto en entornos rurales como urbanos basado en cartografía de alta resolución. Al ser online no hay que descargar ningún tipo de software, simplemente realizar un registro de usuario en la web. Ofrece a los usuarios la posibilidad de elegir entre una simulación de baja resolución pero gratuita o una simulación profesional de alta resolución a coste razonable.
- **HeyWhatsThat:** Aplicación que permite realizar perfiles de terreno en línea con sólo indicar dos puntos sobre Google Maps. A partir de un lugar

determinado, se puede observar los contornos de montañas y valles hasta perderse en la curvatura del horizonte. Utiliza la base de datos realizada a partir de la misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), realizada por la Agencia Geológica de Estados Unidos, la NASA y el Observatorio Naval de los Estados Unidos. Dicha base de datos es la que usa Google Earth o softwares como LinkPlanner. A diferencia de los anteriores, solo permite obtener el perfil del terreno entre dos puntos.

A continuación se estará presentado el siguiente cuadro en el cual se estarán evaluando las ventajas y desventajas de los software antes mencionados y se seleccionara el más adecuado para la comparación de los resultados frente al programa ya desarrollado en este trabajo de grado.

Tabla 3. Ventajas y Desventajas de los programas a comparar

Software	Ventajas	Desventajas
Radio Mobile	Software gratuito. Simulaciones aproximadas a valores reales. Suelen ser sencillos de manejar. Mapas actualizados constantemente.	Los equipos con los que permiten trabajar suelen ser los del fabricante.
HeyWhatsThat	Software gratuito. Simulación sencilla para el usuario. Programas de mapas en alta calidad.	El rango de frecuencias es limitado. No realiza diagramas de cobertura. Algunas simulaciones y resultados son demasiado básicos.
Xirio Online	Aplicaciones en línea Software gratuito. Proporciona herramientas muy útiles.	El rango de frecuencias es limitado. No realiza diagramas de cobertura.

		Algunas simulaciones y resultados son demasiado básicos.
LinkPlanner	Software gratuito. Aplicaciones en línea Proporciona herramientas muy útiles.	El rango de frecuencias es limitado. No realiza diagramas de cobertura. Algunas simulaciones y resultados son demasiado básicos.
ICS Telecom de ATDI	Simulaciones profesionales. Proporciona herramientas muy útiles. Cartografía de alta resolución. Muy completos.	El precio puede resultar excesivo. Puede ser un poco complejo para algunas tareas.
EDX Signal Pro	Proporciona herramientas muy útiles. Cartografía de alta resolución. Muy completos. Simulaciones profesionales. Datos de enlace exactos a la realidad.	El precio puede resultar excesivo. Puede ser un poco complejo para algunas tareas.

Fuente: Inojosa, J (2021)

Luego de haber realizado el cuadro comparativo de los programas disponibles se determinó que el software Radio Mobile es el más adecuado para la comparación de los resultados con el programa desarrollado en este trabajo de grado. Principalmente porque es un software gratuito, posee simulaciones aproximadas a los valores reales, genera gráficos de enlace y comparado con los demás software tiene muchas menos desventajas ante los demás.

4.4.2 Comparación de Resultados

Para la comparación de resultados en el software desarrollado en este trabajo de grado se tomaron los siguientes valores iniciales:

Altura de las Antenas

- Altura TX = 20 m
- Altura RX = 20 m

Posición Antena Transmisora dentro del Territorio Nacional Venezuela

- Longitud TX = -66.99166°
- Latitud TX = 10.38361°

Posición Antena Receptora

- Longitud RX = -67.00639°
- Latitud RX = 10.17194°

Ganancias de las Antenas

- Ganancia TX = 30 dBi,
- Ganancia RX = 30 dBi

Frecuencia = 5 GHz

Potencia TX = 31 dBm

Potencia Mínima Requerida (C mínima) = -96 dBm

Índice Troposférico = 0.75

Declinaciones Magnéticas

- Declinación Magnética TX = 5°
- Declinación Magnética RX = 4°

Pérdidas

- Atenuación del Cableado = 1 dB/100m
- Cantidad de Conectores = 4
- Perdida de los Conectores = 0.5 dB

Atenuación por Vegetación

- Atenuación Especifica = 0.6 dB/Km
- Recorrido = 2 Km
- Antenas Descubiertas

Margen de Desvanecimiento

- Rugosidad = 1
- Confiabilidad = 0.9999
- Probabilidad = 1

Primero se realizaron las simulaciones en software desarrollado en este trabajo de investigación, el cual en la siguiente figura se puede observar la gráfica obtenida de la línea de vista, y se pueden observar los parámetros calculados.

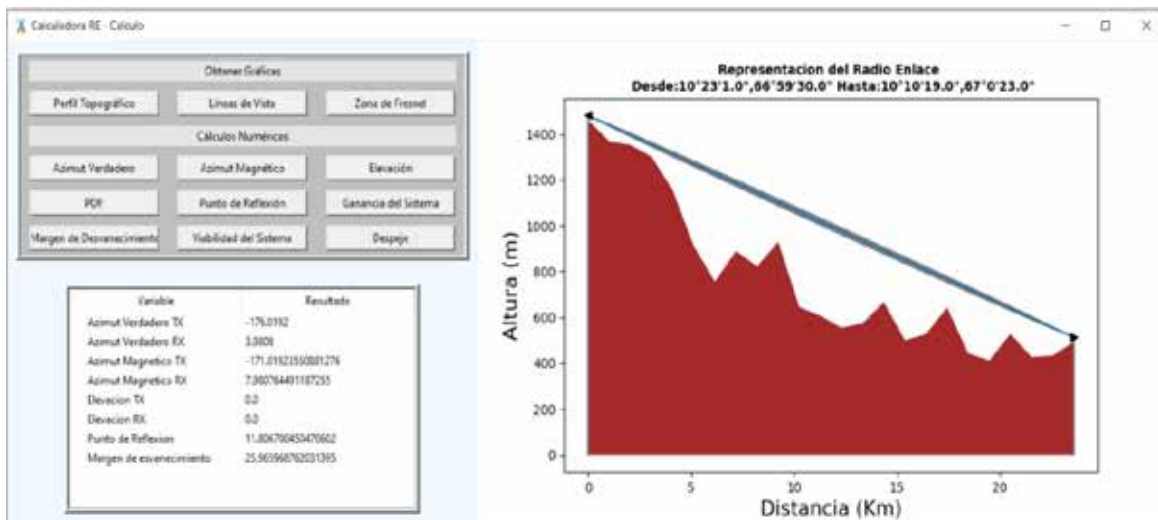


Figura 22. Simulación con el programa desarrollado en el trabajo de investigación.
Fuente: Inojosa, J (2021)

Por ultimo tenemos las siguientes variables que fueron calculadas con el programa desarrollado en este trabajo de grado.

Azimut

- Azimut Verdadero TX = -176.019°
- Azimut Verdadero RX = 3.981°
- Azimut Magnético TX = -171.019°
- Azimut Magnético RX = 7.981°

Elevaciones

- Elevación TX = 0.0° , Elevación RX = 0.0°

Perdidas

- Pérdida por Cableado = -0.4 dB
- Pérdida por Conectores = -2.0 dB
- Pérdida en el Espacio Libre = -133.893 dB
- Pérdida por Vegetación = -1.2 dB
- Margen de Desvanecimiento = 25.966 dB
- Punto de Reflexión = 11.807m

Evaluación del radio enlace

- Distancia entre las antenas = 23.613 Km
- Ganancia del Sistema = 127.0dB
- Potencia Recibida en el recetor = -72.459 dB
- Este radioenlace es viable con una potencia en el receptor = -72.459 dB

Luego se realizo la simulación en el software RadioMobile con los mismos parametros de entrada colocados en el software desarrollado en este trabajo de grado el cual arrojo los siguientes resultados:

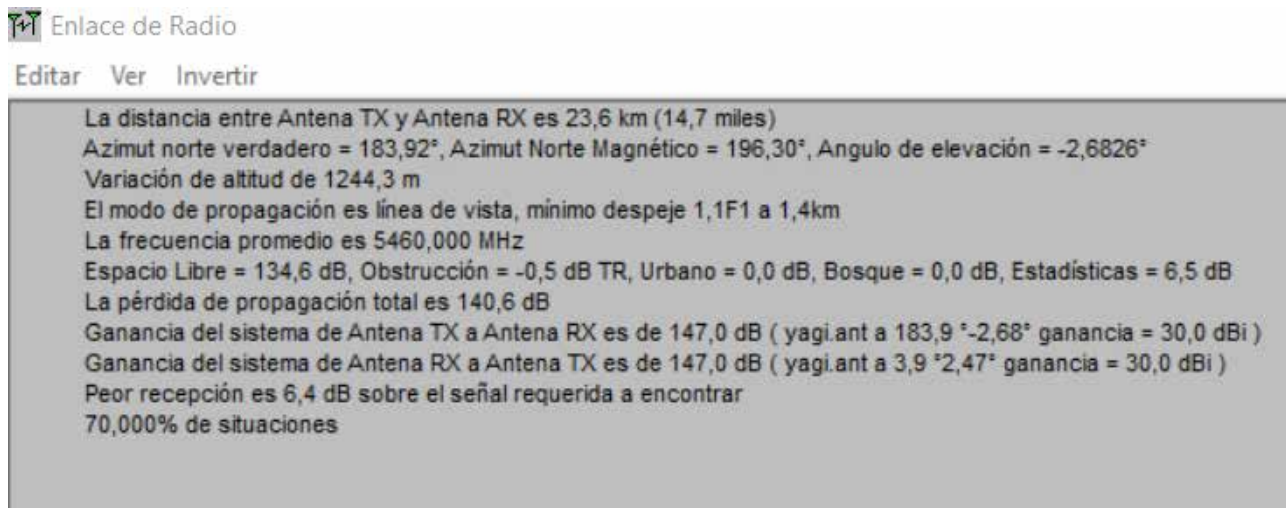


Figura 23. Simulación con el programa Radio Mobile Resultados

Fuente: Inojosa, J (2021)

En la siguiente imagen se puede observar la gráfica obtenida en la simulación del radioenlace en el software Radio Mobile, el cual se puede observar que comparada con la simulación anterior se puede ver que la línea de vista es limpia y no posee ningún obstáculo tanto como en la simulación anterior como en la obtenida por el radio Mobile.

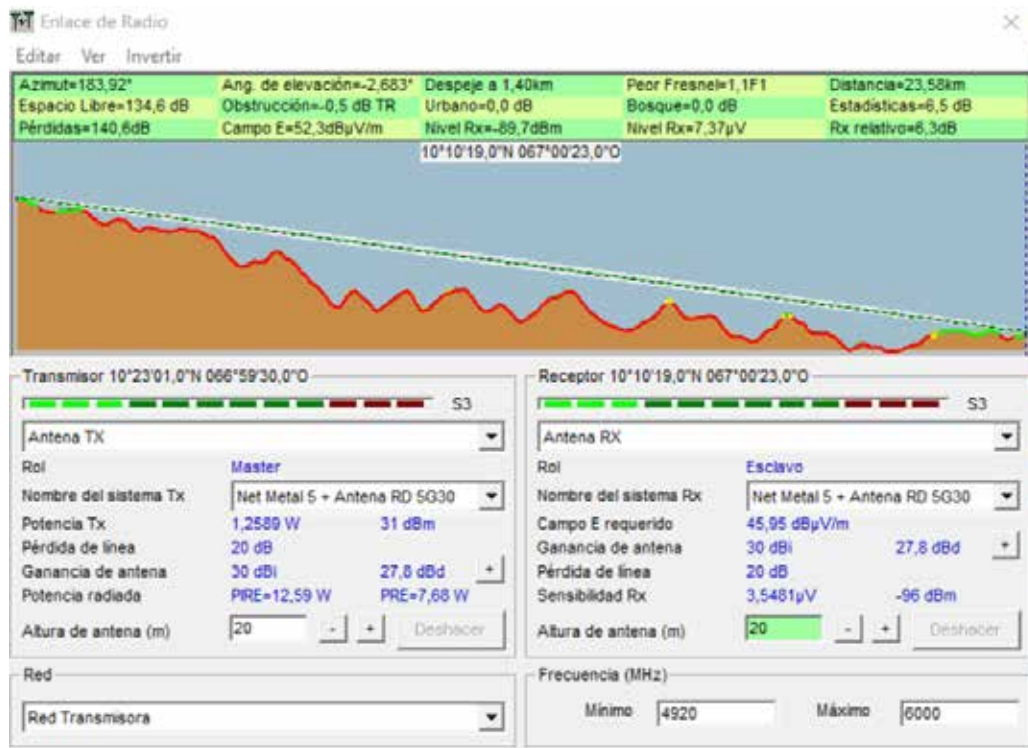


Figura 24. Simulación con el programa Radio Mobile Grafica
Fuente: Inojosa, J (2021)

En la siguiente tabla se puede observar la comparación de los resultados que se hicieron en los distintos software, se puede obser que el desarrollado en este trabajo de grado los parametros mas comunes se encuentran en valores parecidos en ambos esto genera el buen resultado que ha tenido este programa desarrollado. Sin embargo los parametros difieren en centesimas esto depende de las perdidas tomadas por los software, ya que el programa desarrollado se realizo con mas exactitud hacia la

perdidas de los valores y sus valores son mas optimos comparados a los del radio Mobile.

Tabla 4. Comparación de Resultados

	Software desarrollado en el trabajo de grado	Radio Mobile	Margen de Desviación del Software
Distancia entre las antenas	23.613 Km	23,6 Km	0,013 Km
Ganancia del Sistema	127.0 dB	130.0 dB	3 dB
Potencia Recibida en el recetor	-72.459 dBm	-75,7 dBm	3,241 dBm
Azimut Verdadero TX	-176.019°	-183,92°	7,901°
Azimut Magnético TX	-171.019°	-196,30°	20,281°

Fuente: Inojosa, J (2021)

CONCLUSIONES

Este trabajo ha supuesto poner en práctica muchos de los conocimientos aprendidos durante el Grado. Ponen a prueba las bases sobre sistemas de radiocomunicación y programación.

Durante la realización del mismo, surgieron dificultades que pudieron ser resueltas. Al principio el problema más importante, fue la integración de parámetros esenciales de carácter cartográfico (como la altitud, distancia y latitud) en el programa principal de Python, esto se debía a que la mayoría de software que permiten este tipo de función no son gratuitos. Por ello, al realizar una búsqueda exhaustiva sobre programas en análisis y diseño de radioenlaces se encontró uno que se ajustaba a las necesidades del código empleado porque permitía la exportación de ficheros con los datos sobre el enlace creado.

Así mismo este trabajo también ha servido como entrenamiento para el mundo laboral, debido a la importancia de búsqueda de información en fuentes fiables y sobre todo lo esencial que es documentar cada tarea realizada para que cualquier persona con cierto nivel de conocimiento pueda seguir trabajando sobre un determinado proyecto posteriormente. Cabe destacar el enfrentamiento con un lenguaje de programación nuevo para el investigador, lo que supuso un reto que desde un principio fue afrontado. En este sentido, se presentó una gran motivación porque Python es un lenguaje en auge y que seguro en un futuro se volverá a utilizar.

De esta forma, después de comparar los resultados de la herramienta Radio Mobile con el programa del proyecto de investigación, se llegó a la conclusión que el programa desarrollado, es más amable y eficiente para la manipulación del usuario ya que se ingresa directamente las entradas necesarias para el cálculo de radioenlace punto a punto, en comparación con su contraparte que se maneja en base a manipulación de menús para ingresar los datos, estando lejos de ser intuitivo para el usuario. Cabe destacar que los resultados obtenidos son muy parecidos comprobando así la

confiabilidad del programa con una variación en el valor del margen de desvanecimiento.

RECOMENDACIONES

La presente investigación representa solo el inicio de un proceso de desarrollo integral y extenso. Es por eso que se plantean las siguientes recomendaciones para su seguimiento:

- Crear una versión de la aplicación para Android del programa.
- Mejorar el diseño y la representación de las gráficas de línea de vista y zona de Fresnel para que el usuario tenga más información en pantalla.
- Implementar nuevas herramientas y opciones en la interfaz gráfica para mejorar y expandir la calidad de servicio para el usuario.
- Optimizar el rendimiento del programa para que su uso en computadoras de bajo recursos.
- Implementar DEMs de mejor resolución para mejorar la veracidad de los cálculos y las gráficas, sobretodo la delimitación de la Línea de vista y Zona de Fresnel.
- Permitir la descarga de DEM desde un servidor para que el usuario no tenga que invertir tiempo extra buscando la data del terreno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2016). El Proyecto de Investigación. (6a ed.). Caracas: Episteme.
- AristaSur. (2020). Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM. Disponible en:
<https://www.aristasur.com/contenido/sistema-decoordenadas-geograficas-utm>
- Balestrini, M. (2006). Como se Elabora el Proyecto de Investigación. (7ª ed.). Caracas: BL Consultores Asociados.
- Bayón G. Pablo (2019). Simulador en Python para el cálculo de pérdidas de propagación según la Rec. ITU-R P.530.
- Gallegos Sánchez. (2018). Desarrollo De Un Software De Monitoreo Y Predicción En Tiempo Real De Incidencias Ambientales Para Data Center De Telecomunicaciones.
- García Chinguel, R., & Llamo Orrego, H. Z. (2006). Diseño de Radioenlace Para Superar Las Deficiencias Y Limitaciones En El Control De La Central Hidroeléctrica Chiriconga Por Parte De ENSA. Lambyeque: Tesis Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Hernando, J.; Riera, J. y Mendo, L. (2019). Transmisión por Radio. (7a ed.). Madrid: Centro de Estudios Ramón Areces 2019.
- Herrera Vichicela Julio Peña. (2019). Desarrollo De Una Aplicación Informática, Para El Análisis Y Balance De Un Radio Enlace, Bajo El Software MATLAB. Disponible en:
<http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2192>
<http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2192>
<http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/8210/BC-4600%20FERNANDEZ%20CASTRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<http://srtm.csi.cgiar.org>
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626376>
<https://www.analfatecnicos.net/archivos/24.CalculoDeRadioenlace.pdf>
- Hurtado, J. (2010). El proyecto de investigación. Caracas: Editorial Quirón.

- Mario Tamayo y Tamayo. (2002). El Proceso De La Investigación Científica. (4ª ed.). Balderas 95, México, D.F.
- Mijares, H y García, L. (2007). Normas para la Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado. Carabobo: Editorial UJAP. Caracas: Editorial Fedupel.
- Ramírez, R. (2015). Sistemas de Radiocomunicaciones, (1a ed.). Madrid.
- Rodríguez-Noguera, Y et al (2010). La experiencia de investigar. 3era edición. Dirección de Medios y publicaciones de la Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
- SRTM. (2020).CGIAR-CSI SRTM – SRTM 90m DEM Digital Elevation Database. [Página web en línea]. Disponible en: <https://srtm.csi.cgiar.org/>
- Wayne Tomasi. (2003) Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. (4ª ed.). PEARSON EDUCACIÓN, México.