

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
SEDE ESMERALDAS**



**CARRERA:**

INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

PREVIO AL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y  
COMPUTACIÓN

**TEMA DE INVESTIGACIÓN:**

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIO ENLACES PARA INTERCONECTAR  
CAMPUS UNIVERSITARIOS. CASO DE ESTUDIO PUCESE.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

REDES Y COMUNICACIONES

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE:**

INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

**AUTOR:**

LUIS FERNANDO GUERRA MANZANO

**ASESOR:**

MGT. WILSON CHANGO

**ESMERALDAS, 2021**

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

**Título:** Diseño de un sistema de radio enlaces para interconectar campus universitarios.  
Caso de estudio PUCESE.

**Autor(a):** Luis Fernando Guerra Manzano

Mgt. Gustavo Chango

f. \_\_\_\_\_

**Asesor**

Mgt. Juan Casierra

f. \_\_\_\_\_

**Lector #1**

PhD. Pablo Pico

f. \_\_\_\_\_

**Lector #2**

Mgt. Susana Patiño Rosado

f. \_\_\_\_\_

**Coordinadora de carrera**

## **AUTORÍA**

Yo, **Guerra Manzano Luis Fernando** con número de cédula de identidad 0803047471 manifiesto que mediante la presente investigación sobre el tema “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIO ENLACES PARA INTERCONECTAR CAMPUS UNIVERSITARIOS. CASO DE ESTUDIO PUCESE.**” los resultados obtenidos como tesis de grado, previo a la obtención del título de “**INGENIERO EN SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**” son de total responsabilidad del autor, y que se ha respetado las fuentes de información consultadas, realizando las citas correspondientes y los resultados alcanzados son totalmente personales, únicos y legítimos. Al mismo tiempo declaro que todo el contenido incluyendo resultados, discusión, conclusiones, recomendaciones y otros efectos legales y académicos que se desglosan, son y serán exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

---

Guerra Manzano Luis Fernando

C.I. 0803047471

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco primeramente a Dios, ser divino omnipotente, omnipresente y omnisciente por darme la vida y la salud, por tener aún a mis padres con vida y permitirme junto a ellos recorrer esta maravillosa etapa universitaria, gracias, Dios mío por proveerme de inteligencia y sabiduría a lo largo de esta carrera, para permitirme culminarla y no darme por vencido en los momentos más complicados de la carrera.*

*Agradezco a mis padres, quienes con esfuerzo y sacrificio me han acompañado a lo largo de mi vida, sobre todo en mi carrera universitaria. Agradezco a mi madre por haber depositado su confianza en mí, gracias, Beatriz Manzano por ser un ángel guardián en mi vida, por ser esa madre abnegada que nunca espera nada a cambio, te admiro demasiado madre por ser una mujer llena de valores y principios que día a día me demuestras con tu amor hacia Dios.*

*Agradezco a mi padre, por haber confiado siempre en mí, por enseñarme que nunca debo darme por vencido, gracias, Fernando Guerra, por ser ese ejemplo de responsabilidad, que, a pesar de todas las circunstancias, siempre existe un camino por el cual encontrar una solución, gracias, padre por tus enseñanzas y por todos los valores que me has inculcado, padre te admiro por ser quién eres y depositar tu confianza en mí aun cuando los demás la habían perdido.*

*Les agradezco a todos mis seres queridos que conforman mi familia, ya que gracias a ellos pude superarme una vez más, en especial a mis seres queridos que desde el cielo me cuidan y a los que aún están con vida que con un consejo me motivan a continuar estudiando y formándome como profesional.*

*Agradezco muy enormemente a todos mis profesores, por inculcar sus conocimientos en mí, por ser guías y educadores de bien, que con su empeño y disciplina forman grandes profesionales, en especial a los docentes, Mgt. Gustavo Chango, Mgt. Juan Casierra, PhD. Pablo Pico, quienes me acompañaron en cada momento de mi proyecto de investigación para que se realizara con éxito y lograra alcanzar la meta tan anhelada.*

**Fernando Guerra.**

## **DEDICATORIA**

*Le dedico este trabajo a mis padres, quienes nunca dejaron de confiar en mí, a mi madre Martha Beatriz Manzano Naranjo y a mi padre Luis Fernando Guerra, quienes con amor y sacrificio me han apoyado siempre en mi vida, quienes me han inculcado todos sus principios y valores para ser una gran persona, mi infinita gratitud hacia ustedes dos por ser esas personas en las que siempre puedo confiar y que nunca me abandonan.*

*También le dedico este trabajo a mis familiares que desde el cielo me cuidan, en especial a mi tía Nancy Manzano que me dejó grandes enseñanzas de vida, a siempre salir adelante y ayudar a los demás, de igual manera le dedico este trabajo al resto de mis familiares y sobre todo a mis seres queridos que me han motivado a continuar esforzándome día a día para llegar a ser un gran profesional.*

**Fernando Guerra.**

# Índice de contenidos

<b>TRIBUNAL DE GRADUACIÓN</b> .....	<b>I</b>
<b>AUTORÍA</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>IV</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>X</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
Presentación de la investigación .....	12
Planteamiento del problema .....	13
Justificación.....	14
Objetivos .....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos Específicos .....	15
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
1.1 Bases teóricas científicas.....	16
1.1.1 MODOS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS .....	16
1.1.2 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO .....	25
1.1.3 RADIO ENLACE .....	27
1.1.4 RADIO MOBILE.....	33
1.2 Antecedentes .....	33
1.3 Fundamentación legal .....	36
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b> .....	<b>39</b>
2.1 Delimitación.....	39
2.2 Tipos de investigación.....	39
2.3 Métodos de investigación.....	41
2.4 Población y muestra .....	42
2.5 Variables de investigación .....	42
2.6 Técnicas de investigación e instrumentos de recolección de datos .....	50
2.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	51
2.8 Normas éticas .....	52
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b> .....	<b>54</b>
Análisis bibliográfico .....	54
3.1 Análisis de los puntos a conectar .....	56
3.1.1 Caso 1: Campus Santa Cruz – Campus Tachina .....	63
3.1.2 Caso 2: Campus Santa Cruz – Balcones de Tachina – Campus Tachina .....	66

3.1.3	Caso 3: Campus Santa Cruz – Montaña – Campus Tachina.....	71
3.1.4	Caso 4: Campus Santa Cruz – Gatazo – Campus Tachina.....	75
3.1.5	Caso 5: Campus Santa Cruz – Panecillo – Campus Tachina .....	79
3.2	Comparación de bandas y frecuencias .....	84
3.2.1	Bandas licenciadas y no licenciadas.....	84
3.2.2	Banda de 2.4 GHz y 5 GHz.....	85
3.2.3	Frecuencias.....	86
3.3	Análisis de factores ambientales y geográficos.....	86
3.3.1	Equipos de radios y antenas .....	90
3.3.2	Simulación de los enlaces con AirLink.....	91
3.4	Simulación del sistema de radio enlaces .....	92
3.4.1	Simulación con Radio Mobile.....	92
3.4.2	Diseño de red.....	95
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....</b>		<b>96</b>
<b>CAPÍTULO V: PROPUESTA .....</b>		<b>98</b>
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES .....</b>		<b>99</b>
<b>CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES .....</b>		<b>100</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>101</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>107</b>
	Anexo 1. Cuestionario de preguntas para las encuestas al departamento de TI.....	108
	Anexo 2. Diseño experimental .....	109
	Anexo 3. Puntos de referencia en el campus de Santa Cruz .....	112
	Anexo 4. Puntos de referencia en el campus de Tachina .....	113
	Anexo 5. Puntos de referencia en Balcones de Tachina.....	113
	Anexo 6. Puntos de referencia en la montaña frente al campus de Tachina .....	114
	Anexo 7. Puntos de referencia en los cerros de Gatazo .....	114
	Anexo 8. Puntos de referencia en el barrio el Panecillo.....	115
	Anexo 9. Conexión para el caso 1.....	115
	Anexo 10. Conexión para el caso 2.....	116
	Anexo 11. Conexión para el caso 3.....	116
	Anexo 12. Conexión para el caso 4.....	117
	Anexo 13. Conexión para el caso 5.....	117

## Índice de figuras

Figura 1. Modo de transmisión simplex.....	17
Figura 2. Modo de transmisión half-dúplex.....	17
Figura 3. Modo de transmisión full-duplex.....	18
Figura 4. Cable de par trenzado .....	19
Figura 5. Cable coaxial.....	20
Figura 6. Cable de fibra óptica.....	21
Figura 7. Microondas terrestre .....	22
Figura 8. Microondas por satélite.....	23
Figura 9. Esquema de un radio enlace .....	28
Figura 10. Antena .....	28
Figura 11. Línea de vista entre dos antenas .....	30
Figura 12. Zona de fresnel entre dos antenas .....	31
Figura 13. Link Budget .....	32
Figura 14. Diagrama aplicado a la búsqueda de estudios.....	55
Figura 15. Puntos analizados para la simulación del radio enlace .....	56
Figura 16. Conexión entre el Campus Santa Cruz y el campus Tachina sin repetidor .....	63
Figura 17. Puntos que conectar para el caso 1 .....	64
Figura 18. Visualización del enlace punto a punto entre el campus de Santa Cruz y Tachina ...	64
Figura 19. Verificación del enlace punto a punto para el primer caso .....	65
Figura 20. Análisis por donde viajan las ondas electromagnéticas para el primer caso.....	66
Figura 21. Conexión entre el campus de Santa Cruz y Tachina con repetidor en Balcones .....	67
Figura 22. Puntos que conectar para el caso 2 .....	68
Figura 23. Visualización de los enlaces a través de un repetidor en Balcones de Tachina.....	69
Figura 24. Verificación de los enlaces para el segundo caso a través de un repetidor.....	70
Figura 25. Análisis por donde viajan las ondas electromagnéticas para el segundo caso.....	71
Figura 26. Conexión entre el campus de Santa Cruz y Tachina con repetidor en la montaña ...	72
Figura 27. Puntos que conectar para el caso 3 .....	73
Figura 28. Visualización de los enlaces a través de un repetidor en la cima de la montaña .....	74
Figura 29. Análisis por donde viajan las ondas electromagnéticas para el tercer caso .....	75
Figura 30. Conexión entre el campus de Santa Cruz y Tachina con repetidor en Gatazo .....	76
Figura 31. Puntos que conectar para el caso 4 .....	77
Figura 32. Visualización de los enlaces a través de un repetidor en Gatazo.....	78
Figura 33. Análisis por donde viajan las ondas electromagnéticas para el cuarto caso .....	79
Figura 34. Conexión entre el campus de Santa Cruz y Tachina con repetidor en el Panecillo ...	80
Figura 35. Puntos que conectar para el caso 5 .....	81
Figura 36. Visualización de los enlaces a través de un repetidor en el mirador del Panecillo ...	82
Figura 37. Análisis por donde viajan las ondas electromagnéticas para el quinto caso .....	83
Figura 38. Mapa de los puntos a analizar geográficamente .....	86
Figura 39. Zona del campus de Santa Cruz.....	87
Figura 40. Zona del mirador del Panecillo .....	87
Figura 41. Zona del campus de Tachina.....	88
Figura 42. Mapa de precipitaciones .....	89
Figura 43. Longitud de onda de 6 cm.....	89
Figura 44. Radio airFiber 5X HD.....	90
Figura 45. Antena airFiber AF-5G30-S45 .....	91

Figura 46. Enlace entre el campus de Santa Cruz y el repetidor mediante AirLink .....	91
Figura 47. Enlace entre el repetidor y el campus de Tachina mediante AirLink .....	92
Figura 48. Resultados obtenidos en el enlace desde el campus Santa Cruz hasta el repetidor ...	93
Figura 49. Resultados obtenidos en el enlace desde el repetidor hasta el campus Tachina .....	94
Figura 50. Resultado de la conexión a través de la simulación del radio enlace.....	94
Figura 51. Diseño de la red de radio enlaces.....	95
Figura 52. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en el campus de Santa Cruz .....	112
Figura 53. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en el campus de Tachina .....	113
Figura 54. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en el Balcones de Tachina .....	113
Figura 55. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en la montaña.....	114
Figura 56. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en los cerros de Gatazo .....	114
Figura 57. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en el barrio el Panecillo .....	115
Figura 58. Conexión entre el campus de Santa Cruz y el campus de Tachina.....	115
Figura 59. Conexión entre el campus de Santa Cruz, Balcones y el campus de Tachina .....	116
Figura 60. Conexión entre el campus de Santa Cruz, montaña y el campus de Tachina .....	116
Figura 61. Conexión entre el campus de Santa Cruz, Gatazo y el campus de Tachina.....	117
Figura 62. Conexión entre el campus de Santa Cruz, el Panecillo y el campus de Tachina .....	117

## Índice de tablas

Tabla 1. Tabla de medios de transmisión guiados .....	21
Tabla 2. Tabla de medios de transmisión no guiados .....	24
Tabla 3. División del espectro radioeléctrico .....	25
Tabla 4. Variable medio de comunicación .....	43
Tabla 5. Variable elementos del radio enlace .....	45
Tabla 6. Variable software Radio Mobile .....	46
Tabla 7. Variable Link Budget.....	48
Tabla 8. Método de Kuder Richardson aplicado a las encuestas .....	51
Tabla 9. Ecuaciones aplicadas en la búsqueda .....	54
Tabla 10. Ecuaciones posteriores al filtro de lectura.....	55
Tabla 11. Coordenadas obtenidas en el campus de Santa Cruz .....	57
Tabla 12. Coordenadas obtenidas en el campus de Tachina .....	58
Tabla 13. Coordenadas obtenidas en Balcones de Tachina.....	59
Tabla 14. Coordenadas obtenidas en la montaña frente al campus de Tachina .....	60
Tabla 15. Coordenadas obtenidas en los cerros de Gatazo .....	61
Tabla 16. Coordenadas obtenidas en el barrio el Panecillo.....	62
Tabla 17. Coordenadas seleccionadas para el primer caso .....	63
Tabla 18. Coordenadas seleccionadas para el segundo caso .....	67
Tabla 19. Coordenadas seleccionadas para el tercer caso .....	72
Tabla 20. Coordenadas seleccionadas para el cuarto caso .....	76
Tabla 21. Coordenadas seleccionadas para el quinto caso .....	80
Tabla 22. Comparación entre las bandas licenciadas y no licenciadas .....	84
Tabla 23. Comparación entre bandas de 2.4 GHz 5 GHz .....	85
Tabla 24. Parámetros generales para la simulación en Radio Mobile.....	93
Tabla 25. Coordenadas obtenidas para los enlaces de radio .....	109
Tabla 26. Características del sistema de los enlaces de radio .....	110
Tabla 27. Link Budget del enlace entre el campus de Santa Cruz y el repetidor .....	110
Tabla 28. Link Budget del enlace entre el repetidor y el campus de Tachina.....	111

## RESUMEN

A medida que la tecnología avanza, el ser humano busca la necesidad de optimizar los medios de comunicación, es por ello por lo que en la actualidad se busca aprovechar el internet a través de distintos medios de comunicación. Este estudio nace de la necesidad que se tiene hoy en día de permanecer conectados todo el tiempo, y debido a que el mundo en el cual vivimos está propenso a desastres naturales o accidentes que coloquen en riesgo la infraestructura cableada, por ello, es fundamental tener un medio redundante como es el caso del medio inalámbrico a través de radio enlaces para no perder la comunicación entre un sitio y otro.

Este estudio se realizó en su gran parte mediante una investigación de campo debido a que se recolectaron varias coordenadas geográficas en distintas ubicaciones y se analizaron tanto personalmente como a través de distintos softwares los puntos que se utilizaron en esta investigación. Además, se realizaron diferentes simulaciones en las que se analizaron cinco casos y se obtuvo una mayor factibilidad del radio enlace en el quinto caso. Posteriormente se analizó las bandas, tanto licenciadas como no licenciadas, los factores ambientales y geográficos que provocan atenuaciones, luego se determinó los equipos con las mejores tecnologías posibles y se realizó las respectivas simulaciones finales.

En esta investigación se obtuvo como resultado que a través de dos enlaces propuestos y analizados en el quinto caso como el más idóneo se logra conectar el campus de Santa Cruz y Tachina de la PUCESE a través de un repetidor en el mirador del Panecillo, en el mismo que se presentaron resultaron factibles y viables, por ende, se puede implementar en un futuro contando con el recurso económico necesario para desarrollar la implementación de este proyecto.

Previo a los antecedentes investigados, se determinó que el software de Radio Mobile es muy utilizado en el diseño y cálculo de radio enlaces, al igual que Google Earth es esencial para visualizar los puntos a conectar desde imágenes satelitales que permite analizar factores claves a la hora de desarrollar estos estudios que posteriormente son clave para la implementación de estos.

**Palabras Claves:** Radio enlace, GPS, Banda, Frecuencia, Antena, Medio inalámbrico, Redes, Radio Mobile, Google Earth.

## ABSTRACT

As technology advances, the human being seeks the need to optimize the means of communication, which is why today we seek to take advantage of the internet through different means of communication. This study arises from the need to stay connected all the time, and because the world in which we live is prone to natural disasters or accidents that put at risk the wired infrastructure, it is therefore essential to have a redundant medium such as wireless media through radio links to not lose communication between one site and another.

This study was conducted largely through field research because several geographical coordinates were collected in different locations and the points used in this research were analyzed both personally and through different softwares. In addition, different simulations were performed in which five cases were analyzed and a higher feasibility of the radio link was obtained in the fifth case. Subsequently, the licensed and unlicensed bands, the environmental and geographical factors that cause attenuations were analyzed, then the equipment with the best possible technologies was determined and the respective final simulations were performed.

In this research it was obtained as a result that through two links proposed and analyzed in the fifth case as the most suitable to connect the campus of Santa Cruz and Tachina of PUCESE through a repeater in the viewpoint of Panecillo, in the same that were presented were feasible and viable, therefore, it can be implemented in the future with the necessary financial resources to develop the implementation of this project.

Prior to the investigated background, it was determined that the Radio Mobile software is widely used in the design and calculation of radio links, as well as Google Earth is essential to visualize the points to be connected from satellite images that allows to analyze key factors when developing these studies that are key for the implementation of these.

**Keywords:** Radio link, GPS, Band, Frequency, Antenna, Wireless, Networks, Mobile Radio, Google Earth.

# INTRODUCCIÓN

## Presentación de la investigación

A medida que la tecnología avanza en el mundo, el ser humano busca la manera de optimizar los medios de comunicación y aprovechar el Internet en su totalidad, es por ello por lo que en los últimos años la industria de las redes y comunicaciones ha sido testigo de un amplio crecimiento gracias a que las comunicaciones permiten esquemas de seguridad eléctrica más rápidos. Entre los tipos de comunicación más importantes se considera a la comunicación inalámbrica, gracias a su facilidad y bajo costo [1]. En la actualidad existen grandes actividades operacionales que requieren la transmisión de datos de punto a punto a una gran velocidad, lo que implica desarrollar grandes soluciones de comunicación para evitar la pérdida de datos y que la transferencia de estos sea a una gran velocidad por muy largas que sean las distancias entre dos o más puntos de comunicación [2].

Por otro lado, en la medida que avanza el ser humano se vuelve más dependiente de la tecnología, motivo por el cual en los campos de batallas modernos se han creado estaciones de mando y control para el Área de Batalla Táctica (BTA) creando radio enlaces de punto a punto para conectar distintas entidades y llevar la información de un sitio a otro a través de ondas electromagnéticas [3], por otra parte los sistemas de comunicación inalámbrica siguen evolucionando a pasos agigantados, de tal manera que para los servicios móviles de comunicación celular (1G a 4G) está cubriendo la mayoría de países. Sin embargo, la demanda sigue siendo cada vez mayor por lo que es necesario desarrollar una tecnología (5G) que emplee ondas milimétricas para el uso de su frecuencia, con el fin de proporcionar un ancho de banda mucho más grande y se pueda navegar a velocidades más rápidas [4].

Por otra parte la tecnología de la comunicación inalámbrica es una de las comunicaciones más rápidas, la cual poco a poca va creciendo e influyendo en nuestra sociedad [5], es por ello que en la actualidad se proponen nuevos tipos de sistemas que brindan nuevos accesos de banda ancha para ofrecer los servicios de telecomunicaciones con una alta calidad [6].

Además, en los últimos años se han empleado las comunicaciones inalámbricas en distintas estaciones satelitales [7]–[9]. Junto con la ayuda de Universidades se encuentran empleando radio enlaces para comunicar pequeños nanosatélites llamados *CubeSats* los cuales dependen de las comunicaciones de radio con la tierra a través de estaciones en las

que se encargan de recibir los datos para realizar misiones científicas o para transmitir telemetría y datos de medición a la Tierra para su procesamiento [7]. También, se han puesto en marcha satélites LEO (*Low Earth Orbit*) para ejecutar operaciones de comunicaciones, telemetría y vigilancia a través de espectros electromagnéticos con la finalidad de que las comunicaciones no interfieran con otros tipos de radiofrecuencias [8].

En este estudio se plantea diseñar un sistema de radio enlaces para comunicar los campus universitarios de la PUCESE y proveer de los distintos servicios que se brindan en el campus principal de Santa Cruz en el nuevo campus ubicado en Tachina, estableciendo los requisitos y tecnologías necesarias para conocer la viabilidad de la interconexión entre ambos campus.

### **Planteamiento del problema**

Existe una gran brecha entre las personas que viven en la ciudad y el resto de las personas que habitan en zonas rurales para tener acceso a la información o servicios que brinda una institución, debido a que las personas que viven en zonas rurales están aisladas de la ciudad por la naturaleza como son los ríos, valles, colinas, entre otras, por lo tanto, la infraestructura para las telecomunicaciones en las zonas rurales no es muy efectiva, por lo cual es indispensable conectarse a Internet a través de enlaces de radio microondas que sirvan como un viaje de vuelta (*backhaul*) de acceso para las zonas rurales con una buena calidad de servicio y un gran rendimiento del mismo [10].

Los enlaces de radio se han convertido en un sistema fundamental para la comunicación de dos o más lugares, debido a que el mundo en el que vivimos nos obliga a estar conectados, pero debido a ciertos factores técnicos y geográficos causa que las ondas electromagnéticas que se dispersan a través de los radio enlaces sufran disminución en cuanto a la potencia transmitida, y que el porcentaje de la interferencia esté sujeta a un factor como es la distancia o la disponibilidad de la línea de vista entre dos antenas [3], [11], otro factor importante que reduce la señal de las ondas electromagnéticas en los enlaces de radio es la atenuación provocada por las lluvias, la niebla y la nieve, debido a que estos factores climáticos influyen en la degradación de las señales [12], [13].

Por otro lado, los radio enlaces sirven como medio alternativo al cableado de fibra óptica el cual se emplea en los últimos años. Uno de los principales motivos de pérdida de comunicación no inalámbrica o cableada, es que pueda ocurrir un accidente o un suceso de la naturaleza que interrumpa la comunicación, por lo cual a través de los enlaces

de radio se pueda continuar con la comunicación establecida entre dos o más puntos. Sin embargo, en muchos casos es posible que no exista línea de vista, por lo cual se debe colocar una estación repetidora que recibe las ondas electromagnéticas con una antena receptora y posteriormente las retransmite a través de una antena emisora en un cierto punto determinado para lograr la comunicación entre dos lugares.

En este estudio se ha decidido aplicar el diseño de un sistema de radio enlaces para interconectar la Sede de la PUCESE con el campus de Tachina. No obstante, previo a hacer el diseño del sistema de radio enlaces que permita interconectar los dos campus de Santa Cruz y Tachina requiere responder a las siguientes preguntas.

1. ¿Cuáles son las principales herramientas para diseñar un sistema de radio enlaces?
2. ¿Qué elementos se deben tener en cuenta para interconectar dos puntos ubicados a largas distancias?
3. ¿Cuáles son los factores ambientales y geográficos que pueden disminuir las señales de radio enlaces para comunicar los campus sujetos a estudio?
4. ¿Qué frecuencias se pueden implementar en la comunicación inalámbrica en la ciudad de Esmeraldas?
5. ¿Qué tecnologías de comunicación son las más idóneas para comunicar los campus de Santa Cruz y Tachina?

## **Justificación**

La presente investigación titulada “Diseño de un sistema de radio enlaces para interconectar campus universitarios. Caso de estudio PUCESE” tiene como finalidad comunicar los campus de Santa Cruz y Tachina ubicados en la ciudad de Esmeraldas y a su vez proveer los servicios de Internet, aula virtual, servicio de vpn, entre otros, desde su sede principal dentro de la ciudad hasta su nuevo campus ubicado en una zona rural como lo es Tachina. Sin embargo, es necesario que exista una línea clara de vista para establecer una comunicación estable a través de una óptima frecuencia para lograr la conexión entre estos dos sitios distantes.

Un motivo fundamental por el cual se realiza este estudio es para comprobar la viabilidad de la comunicación inalámbrica debido a que el mundo está propenso a desastres naturales o eventos que dañen la integridad de la infraestructura de la red no inalámbrica (cableada) provocando que se interrumpa la comunicación, es por ello por lo cual es primordial implementar un diseño de radio enlaces, colocando una antena que

funcione como emisor en el campus de Santa Cruz, y un receptor en el campus de Tachina que a su vez por medio de ondas electromagnéticas permitan la comunicación entre ambos campus de la Sede.

Tomando en cuenta en que esta investigación se basa en el diseño de un sistema de radio enlaces para interconectar dos campus universitarios, tiene como beneficiario principal a todo el personal que conforma la Sede de la PUCESE, y a todos los estudiantes que se encuentran en ella, por lo cual se espera en un futuro que la universidad pueda financiar este proyecto para llevarlo a cabo en los campus universitarios implementando nuevas tecnologías en la ciudad de Esmeraldas.

Por lo tanto, es importante determinar cuál es la tecnología más idónea que permita materializar la interconexión entre los dos campus basados en una propuesta técnica apoyada de procesos de diseño y simulación para en un futuro implementarla en los campus de la PUCESE en Esmeraldas. Además, este estudio es pertinente debido a que se tiene una base de los estándares inalámbricos que se deben utilizar para lograr el objetivo de la comunicación con un alto nivel de calidad para que tanto los estudiantes como profesores puedan acceder a los servicios que provee la Sede.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Diseñar un sistema de radio enlaces para interconectar los campus de Santa Cruz y Tachina de la PUCESE mediante un software para la simulación y el cálculo de radio enlaces a largas distancias.

### **Objetivos específicos**

- a) Obtener las coordenadas geográficas para analizar la factibilidad del enlace entre los puntos a conectar a través de simulaciones de prueba.
- b) Comparar las diferentes bandas y frecuencias que se pueden utilizar en la implementación de la comunicación inalámbrica mediante radio enlaces.
- c) Determinar los principales factores ambientales y geográficos que pueden causar atenuaciones en las señales de radio para elegir la tecnología de comunicación a emplear.
- d) Simular el diseño del sistema de radio enlaces con la herramienta seleccionada y la frecuencia correspondiente a utilizar.

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

## 1.1 Bases teóricas científicas

Para este proyecto de investigación es necesario conocer conceptos fundamentales los cuales sirven para comprender el estudio que se realiza en esta investigación, esta sección ha sido elaborada en base a artículos científicos, libros importantes acerca de redes, comunicaciones y telecomunicaciones.

### 1.1.1 MODOS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Para que exista la comunicación entre dos o más dispositivos es necesario conocer los modos y medios de transmisión que existen para llevar los datos de un sitio a otro, es por ello por lo que en este apartado se mencionan los modos más conocidos para la transmisión de datos, como también los medios guiados y los medios no guiados que existen para la transferencia de información.

#### 1.1.1.1 MODOS DE TRANSMISIÓN

El modo de transmisión hace referencia al sentido en el que viajan los datos desde un emisor hacia un receptor. Una característica fundamental e importante para la caracterización de líneas, dispositivos terminales, computadoras y módems es el modo de transmisión o por el cual se comunican, es por ello que existen cuatro clases de modos que son: *simplex*, *half-dúplex*, *full-dúplex* y *full/full-dúplex* [14].

#### **Modo Simplex**

En este primer modo llamado *Simplex*, la comunicación o transmisión de datos ocurre de forma unidireccional es decir, los datos viajan desde un emisor a un receptor en un solo sentido, por lo cual un dispositivo emite los datos y el otro solo los recibe como se muestra en la Figura 1, por ejemplo el teclado de un dispositivo utiliza el modo *simplex* debido a que solo se puede introducir entradas, o también un monitor cuando muestra las salidas de imágenes [15]. Además, esta transmisión es única no permite al receptor un medio por el cual responder a la transmisión. Otro claro ejemplo es una estación de radio o una estación de televisión emitiendo la información a la TV a los distintos hogares en una ciudad [14].



Figura 1. Modo de transmisión simplex [16]

### Modo Half-dúplex

En este segundo modo de transmisión denominado *Half-dúplex*, cada estación puede enviar y recibir la información, pero no al mismo tiempo, en caso de que un emisor se encuentre enviando datos, el receptor solo puede recibir estos datos, una vez que acabe de recibir, puede el receptor enviar otros datos al emisor como se observa en la Figura 2. En este modo de transmisión de los datos, la capacidad total del canal por el cual viaja la información es asumida únicamente por solo uno de los dos dispositivos que están transmitiendo en ese preciso momento, como por ejemplo es el caso de los walkie-talkies [15]. En la transmisión semidúplex se debe informar de un dispositivo a otro cuando haya finalizado la transmisión de los datos para que el siguiente dispositivo pueda comenzar a transmitir [14].

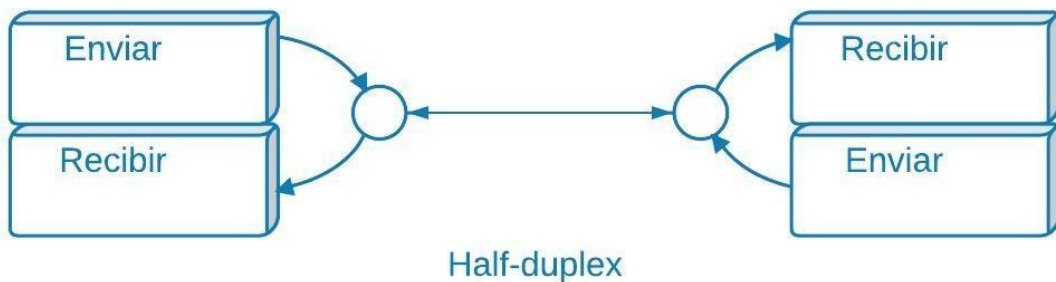


Figura 2. Modo de transmisión half-dúplex [16]

### Modo Full-dúplex

En este tercer modo de transmisión de datos, ambas estaciones pueden tanto transmitir como recibir datos simultáneamente como se muestra en la Figura 3. En este modo dúplex completo las señales comparten la capacidad del enlace y a su vez pueden viajar en ambas direcciones. Un ejemplo es la comunicación que existe cuando dos personas se comunican por medio de un dispositivo móvil, en la que dos personas pueden tanto hablar como

escuchar al mismo tiempo, pero al suceder esto, la capacidad del canal se divide en ambas direcciones. A diferencia del modo anterior este modo permite tener una comunicación simultánea entre un emisor y un receptor, lo que permite proporcionar un rendimiento más eficiente entre dos medios de comunicación [15].



Figura 3. Modo de transmisión full-duplex [16]

### Modo Full/full-dúplex

En este cuarto modo de transmisión se puede transmitir y recibir simultáneamente, es decir se transmite desde una primera estación con dirección a una segunda estación, y al mismo tiempo también se puede transmitir a una tercera estación, sin entrar en ningún conflicto tomando en cuenta que no necesariamente se recibe o se transmite entre las mismas dos estaciones. Un ejemplo claro de este modo de transmisión son las redes de la Internet.

#### 1.1.1.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

El medio de transmisión es un camino físico entre el transmisor o punto inicial en el que se transmite la información y el receptor donde llega la información, cualquier medio físico que pueda llevarla información de un punto a otro a través de señales electromagnéticas se puede utilizar como un medio de transmisión [17]. Un medio de transmisión en términos generales se define como todo lo que puede llevar información de un lugar inicial a un destino. En las comunicaciones los medios de transmisión pueden ser el espacio libre, el cable metálico o el cable de fibra óptica [15].

### 1.1.1.2.1 MEDIOS GUIADOS

El objetivo principal de la capa física es enviar bits de una máquina a otra, por lo cual se pueden utilizar una gran cantidad de medios físicos para la transferencia real de datos. Cada medio tiene un cierto ancho de banda, retardo, facilidad de instalación, coste y mantenimiento [18]. Este primer tipo de medio proporciona un conducto desde un dispositivo a otro [15], en este medio la capacidad de la transmisión en lo que se refiere a velocidad o al ancho de banda depende mucho de la distancia entre el transmisor y el receptor y también si es una conexión de punto a punto o multipunto [19].

#### Cable de par trenzado

Es uno de los medios más antiguos y económicos pero a su vez de los más comunes [18][19], consiste en trenzar dos cables (normalmente de cobre) que son conductores eléctricos aislados [15], cada uno recubierto con su propio plástico como se ilustra en la Figura 4, en forma helicoidal como si fuera una molécula de ADN. Al momento de trenzar los cables, las ondas de distintos trenzados quedan completamente canceladas lo que hace que el cable irradie con menos efectividad. Una de las aplicaciones más comunes de este tipo de cable trenzado es la que se utiliza en el sistema telefónico, por lo general todos los teléfonos se enlazan a una central telefónica a través de un par trenzado [18].

Los pares trenzados sirven tanto para la transmisión de información analógica y digital [18], el uso del cable de par trenzado se inclina a reducir las interferencias electromagnéticas (*diafonía*) que se presentan entre los pares adyacentes en una misma envoltura, para lo cual es necesario trenzar con diferentes pasos de torsión [19].

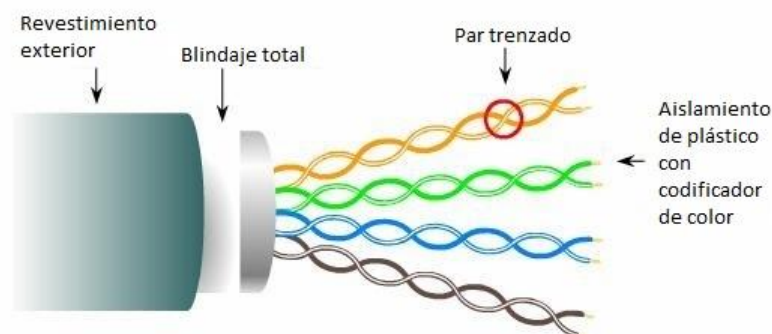


Figura 4. Cable de par trenzado [20]

## Cable coaxial

Al igual que el cable anterior, éste tiene dos conductores pero es construido distintamente, con la finalidad de operar sobre un rango mucho mayor de frecuencias [19]. Este cable también es conocido como “*coax*” tiene mucho mejor blindaje y presenta mayor ancho de banda que el cable de par trenzado, lo que permite cubrir mayores distancias a velocidades mucho más altas. Este cable coaxial se basa en un alambre de cobre rígido que sirve como núcleo recubierto por un material aislante, este material aislante por lo general es una red de tejido trenzado que recubre el conductor cilíndrico [18]. Este aislamiento se lo conoce como dieléctrico como se muestra en la Figura 5.

El cable coaxial es uno de los medios de transmisión más versátiles debido a que tiene una gran variedad de aplicaciones, como por ejemplo, la distribución de televisión o la telefonía a larga distancia [19].

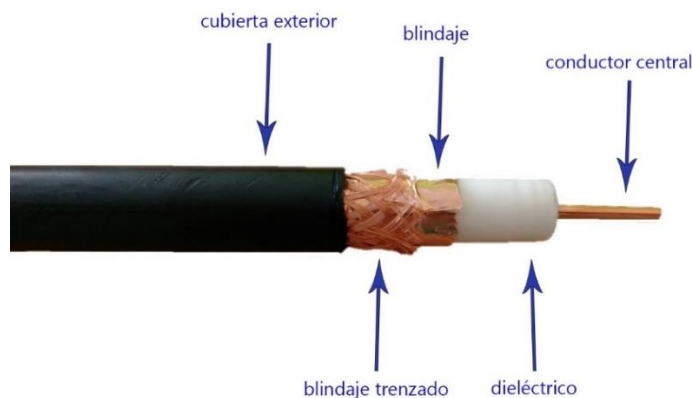


Figura 5. Cable coaxial [21]

## Fibra óptica

La fibra óptica es un medio muy flexible y a su vez delgado (de 2 a 125 micrómetros), este cable tiene forma de cilindro y básicamente está conformado por tres secciones concéntricas que son: el núcleo, el revestimiento y la cubierta, como se muestra en la Figura 6. El núcleo es la parte más interna y está compuesta por una o varias fibras de plástico o cristal, las cuales tienen un diámetro que va entre los 8 a 100 micrómetros. Cada fibra está compuesta por su propia envoltura que también es un cristal o plástico que tiene propiedades ópticas diferentes a las del núcleo. Y por último, la cubierta es la capa que se encuentra más al exterior que se encarga de envolver uno o más

revestimientos, esta última está fabricada de plásticos y otros materiales que protegen contra la humedad u otros peligros [19].

En la actualidad la fibra óptica es uno de los grandes avances tecnológicos debido a que disfruta de una gran aceptación en las telecomunicaciones a grandes distancias lo que la hace muy útil en aplicaciones militares, brinda mayor capacidad con un menor tamaño y peso y la atenuación es mucho menor que en los cables coaxiales o de par trenzado [19].

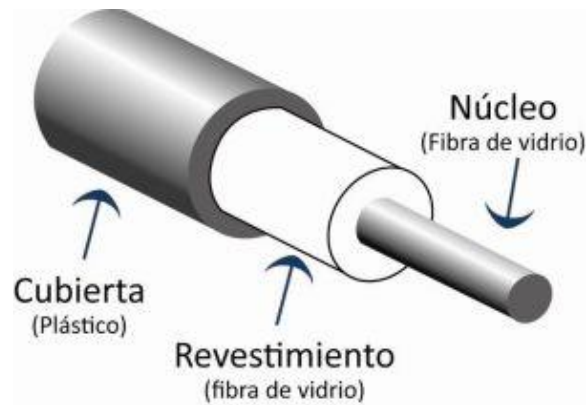


Figura 6. Cable de fibra óptica [22]

A continuación, se presenta en la Tabla 1 una comparación de los medios de comunicación guiados en base a ciertas características como la razón de datos, el ancho de banda y la distancia de separación entre repetidores. Estos medios de transmisión son guiados y descritos en la parte inferior.

Tabla 1. Tabla de medios de transmisión guiados [23]

Medio de Transmisión	Razón de datos total	Ancho de Banda	Separación entre repetidores
Par trenzado	4 Mbps	3 MHz	2 a 10 km
Cable Coaxial	500 Mbps	350 MHz	1 a 10 km
Fibra Óptica	2 Gbps	2 GHz	10 a 100 km

#### 1.1.1.2 MEDIOS NO GUIADOS

A diferencia de los medios guiados, este medio de comunicación transporta las ondas electromagnéticas sin la necesidad de usar un conductor físico, básicamente este tipo de comunicación se lo conoce como comunicación inalámbrica. Estas señales son normalmente transmitidas a través del espacio libre, lo que permite que cualquier persona

que tenga un dispositivo pueda recibirlas [15]. En las comunicaciones inalámbricas se consideran tres intervalos de frecuencias. El primer intervalo se encuentra definido desde 1 GHz hasta 40 GHz el cual es utilizado por las frecuencias microondas, muy utilizadas en enlaces de punto a punto. Las frecuencias que van desde los 30 MHz a 1 GHz se las utiliza para las ondas de radio muy utilizadas en aplicaciones omnidireccionales [19].

### Microondas terrestres

La antena más común que existe en los microondas es la antena parabólica de tipo plato como se la conoce comúnmente, su diámetro es aproximadamente de 3 metros. Esta antena se la coloca fijamente de tal forma que el haz debe enfocarse perfectamente hacia el receptor como se muestra en la Figura 7, estas antenas se ubican a una altura considerablemente elevada sobre el nivel del suelo para conseguir una separación entre ellas y de esta manera evitar posibles obstáculos entre ellas. En caso de que exista algún tipo de obstáculo se procede a colocar distintos enlaces punto a punto entre varias antenas ubicadas en torres adyacentes, hasta lograr cubrir el área de comunicación deseada [19].

Estos sistemas de microondas terrestres son muy utilizados para los servicios de telecomunicación a largas distancias como una alternativa a los medios guiados como es el caso del cable coaxial o las fibras ópticas. Para establecer una buena comunicación entre dos o más puntos se requiere que las antenas se encuentren muy bien alineadas. Otro uso muy común es en enlaces a cortas distancias de punto a punto entre edificios. Además estos sistemas son bastante utilizados en los sistemas celulares [19].



Figura 7. Microondas terrestre [24]

## Microondas por satélite

Un satélite de comunicaciones es una estación que retransmite microondas. Sirve como un puente entre dos o más transmisores o receptores, se denominan estaciones base. El satélite que se encuentra en el espacio recibe la señal en una banda de frecuencia asignada desde un transmisor en forma ascendente, la amplifica y si es necesario la repite, para posteriormente retransmitirla hacia un receptor ubicado en otro punto de forma descendente como se muestra en la Figura 8. Estos satélites geoestacionarios operan en una serie de frecuencias conocidas como canales transpondedores [19].

Un hecho muy importante para el buen uso de la comunicación a través de microondas por satélites es que el satélite de comunicaciones se mantenga en una órbita geoestacionaria, en pocas palabras, que mantenga su posición con la tierra para que se encuentre alineado con las estaciones base. Para que un satélite se mantenga geoestacionario, debe estar en un periodo de rotación igual que el de la tierra y esto ocurre a una distancia aproximada de 35.863 km sobre el Ecuador [19].

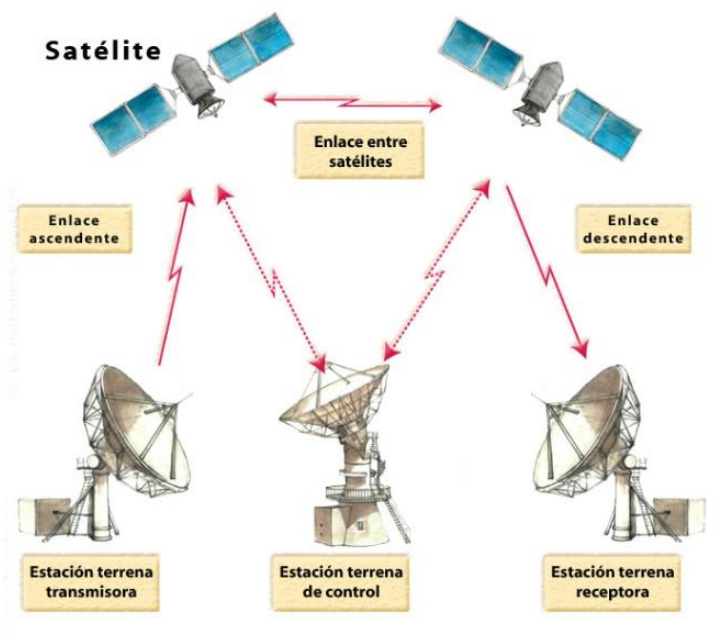


Figura 8. Microondas por satélite [25]

## Ondas de radio

Para entender el funcionamiento de las ondas de radio, tendremos en cuenta una gran diferencia entre las microondas y las ondas de radio, estas ondas transmiten de forma omnidireccional, a diferencia de las microondas que lo hacen de forma mucho más

direccional. Estas ondas de radio están comprendidas entre los 3 kHz y los 300 GHz. El término ondas de radio es muy frecuente para tratar a las bandas VHF y parte de las UHF, que van de 30 MHz a 1 GHz, es muy utilizada en las radios comerciales, así como en las televisoras, aunque también se utiliza para algunas aplicaciones de redes de datos [19].

### Infrarrojos

Este último tipo de comunicación se lleva a cabo entre transmisores y receptores que modulan luz infrarroja no coherente [19], este tipo de ondas se utiliza mucho para la comunicación de cortas distancias debido a que estas ondas son no guiadas [18]. Una gran diferencia entre los rayos infrarrojos y las microondas, es que el medio infrarrojo no permite atravesar las paredes, debido a esto estos rayos tienen sus ventajas ya que los problemas de interferencia y seguridades que presentan las microondas, no se presentan en este medio, de hecho no existe problemas con la asignación de frecuencias, debido a que para operar en esta banda no se necesitan permisos [19].

A continuación, se presenta en la Tabla 2 una comparación entre las distintas bandas de frecuencias utilizados por los medios de comunicación no guiados, en las que también se presenta la modulación para cada banda de frecuencia, la razón de datos y las aplicaciones principales en las que se utiliza cada una de estas bandas.

Tabla 2. Tabla de medios de transmisión no guiados [26]

Banda de Frecuencia	Nombre	Modulación	Razón de Datos	Aplicaciones Principales
<b>30-300 kHz</b>	LF (low frequency)	ASK, FSK, MSK	0,1-100 bps	Navegación
<b>300-3000 kHz</b>	MF (medium frequency)	ASK, FSK, MSK	10-1000 bps	Radio AM Comercial
<b>3-30 MHz</b>	HF (high frequency)	ASK, FSK, MSK	10-3000 bps	Radio de onda corta
<b>30-300 MHz</b>	VHF (very high frequency)	FSK, PSK	Hasta 100 kbps	Televisión VHF, Radio FM
<b>300-3000 MHz</b>	UHF (ultra high frequency)	PSK	Hasta 10 Mbps	Televisión UHF, Microondas Terrestres
<b>3-30 GHz</b>	SHF (super high frequency)	PSK	Hasta 100 Mbps	Microondas Terrestres y por Satélite
<b>30-300 GHz</b>	EHF (extremely high frequency)	PSK	Hasta 750 Mbps	Enlaces cercanos con punto a punto experimentales

### 1.1.2 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El espectro radioeléctrico establece un subconjunto de ondas electromagnéticas también conocidas como ondas hertzianas fijadas convencionalmente, estas ondas se encuentran por debajo de los 3000 GHz, además, se propagan por el espacio sin la necesidad de un conductor artificial. A través del espectro radioeléctrico existe la posibilidad de brindar una gran variedad de servicios respecto a las telecomunicaciones, las cuales tienen una gran importancia gradual debido a que va mejorando el desarrollo económico y social del país. El espectro radioeléctrico es apreciado por la Constitución de la República del Ecuador como una zona estratégica, por lo tanto, el Estado Ecuatoriano se reserva el privilegio de su administración, control, regulación y gestión. Cabe recalcar, que en este contexto, La legislación de las telecomunicaciones ecuatoriana define al espectro radioeléctrico como un medio natural limitado, el cual pertenece al dominio público del Estado, además, es irrenunciable e imprescriptible [27].

De acuerdo con el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador año 2017, el espectro radioeléctrico se divide en las bandas que se muestran en la Tabla 3. Además, se observa la gama de frecuencias que utiliza cada una de estas bandas, los símbolos en inglés y la subdivisión métrica correspondiente para cada una de ellas.

Tabla 3. División del espectro radioeléctrico [28]

Número de la banda	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente
4	VLF	3 a 30 kHz	Ondas miriamétricas
5	LF	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas
6	MF	300 a 3000 kHz	Ondas hectométricas
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas decimétricas
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas
12		300 a 3000 GHz	Ondas decimilimétricas

#### 1.1.2.1 Banda 4. VLF

A través de esta banda se propagan ondas con baja atenuación, lo cual permite realizar radio enlaces a largas distancias, en este rango se presenta un escaso ancho de banda,

debido a que se utilizan señales muy básicas con poca transmisión de datos, como por ejemplo los servicios de radionavegación. Al ser una banda muy baja no es posible transmitir señales de audio.

Estas ondas VLF tienen la capacidad de ingresar en el agua a una profundidad alrededor de los 10 y 40 metros, esta banda también se utiliza para la comunicación con submarinos, radiobalizas y señales horarias, además de estudios geofísicos electromagnéticos [29].

#### **1.1.2.2 Banda 5. LF**

Las características de esta banda son muy parecidas a la banda anterior VLF, tienen poca atenuación y son usadas para comunicar a largas distancias, de igual manera que penetran el agua. Esta banda es muy usada para la navegación marítima y aeronáutica, como por ejemplo para el servicio meteorológico o el servicio de radiodifusión [29].

#### **1.1.2.3 Banda 6. MF**

En esta banda se produce una propagación por onda ionosfera o de superficie, en caso de propagarse por ionosfera depende de la hora del día y de la frecuencia. Esta banda también es muy utilizada en sistemas de seguridad cuando se presentan emergencias marítimas, en radiobalizas, radiotelefonía y comunicaciones marítimas cercas a las costas [29].

#### **1.1.2.4 Banda 7. HF**

Este tipo de banda se utiliza en la propagación por ondas ionosféricas, el alcance de esta señal depende de una gran cantidad de factores climáticos como es la hora del día o la estación del año. Si existe buenas condiciones es posible realizar una comunicación con una cobertura mundial, caso contrario, si existen malas condiciones es posible propagar por ondas de superficie. Esta banda es común para el servicio de radioaficionados [29].

#### **1.1.2.5 Banda 8. VHF**

Esta banda es muy utilizada en las comunicaciones terrestres de cortas distancias, cabe recalcar que la ionosfera no refleja las ondas VHF. Entre sus aplicaciones se tiene a los

sistemas de aterrizaje para las aeronaves, control de tráfico aéreo, comunicación entre buques y a su vez el control marítimo, entre otros [29].

#### **1.1.2.6 Banda 9. UHF**

En esta banda se produce la propagación a través de ondas espaciales troposférica a través de una línea de visión. El tamaño de las ondas UHF permiten usar antenas para dispositivos portátiles lo que junto a las características de propagación hace que estas bandas sean muy utilizadas para los servicios móviles. Entre otro de sus grandes usos, se tiene a que en esta banda se difunden los servicios de televisión digital terrestre, al igual que los servicios de telefonía terrestre, entre otros usos de tecnologías de redes inalámbricas como Wifi o Bluetooth [29].

#### **1.1.2.7 Banda 10. SHF**

En esta banda se produce la propagación por ondas de trayectoria por óptica directa. Este tipo es muy empleado en enlaces ascendentes y descendentes de satélite, radio enlaces, radares y en algunas variantes de medios inalámbricos como el Wifi 802.11n [29].

#### **1.1.2.8 Banda 11. EHF**

Esta banda sufre mucho por la atenuación atmosférica y las condiciones climatológicas en las que se emplea, por lo cual se utiliza principalmente en la radioastronomía y en las comunicaciones satelitales como es el caso de la meteorología o la exploración de la Tierra, aunque también es muy empleada en comunicaciones a cortas distancias [29].

### **1.1.3 RADIO ENLACE**

Los radio enlaces son sistemas de comunicación inalámbrica a través de ondas de radio entre dos o más puntos por medio de antenas las cuales permiten transferir la información de un extremo a otro siempre y cuando exista línea de vista para poder comunicar dos o más antenas como se muestra en la Figura 9, en caso de que no exista una línea clara de visión es necesario colocar uno o varios puntos repetidores en medio de las antenas en lugares altos en los cuales exista línea de visión para lograr conectar una antena trasmisora con una receptora y enviar los datos de un sitio a otro a largas distancias.

### Sistema de Radio - Enlace

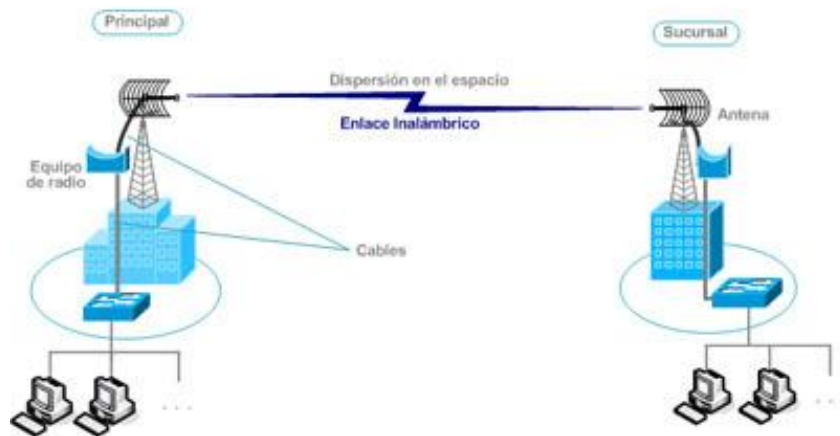


Figura 9. Esquema de un radio enlace [30]

#### 1.1.3.1 Antena

Según el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) define a una antena como “aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas” [31], en pocas palabras la antena es la transición entre un mecanismo guiado y el espacio libre [32], su objetivo es de mandar o recibir ondas electromagnéticas que viajan por el espacio libre como se muestra en la Figura 10.

Una antena es un conductor eléctrico que se utiliza para radiar o percibir energía electromagnética. Para transmitir la señal, la energía eléctrica que proviene del transmisor se transforma a energía electromagnética en la antena, por lo cual se esparce en el entorno cercano como puede ser en el espacio, agua o atmósfera. Para recibir una señal, esta energía electromagnética es capturada por la antena, transformándose en energía eléctrica la cual pasa al receptor. Para las comunicaciones bidireccionales, la misma antena se puede usar tan como para la transmisión y para la recepción de energía, gracias a que las antenas transfieren energía en ambos sentidos [19].



Figura 10. Antena [33]

### 1.1.3.2 Ganancia

La ganancia de una antena hace referencia a una medida de su direccionalidad. Una vez dada la dirección de una antena, se define la ganancia como la potencia de salida en la respectiva dirección antes seleccionada, comparada con la ganancia en cualquiera de las otras direcciones. Es importante recalcar que la ganancia en una antena no se refiere al incremento de la potencia transmitida respecto a la potencia de entrada, sino que simplemente es una medida de la direccionalidad en la que se encuentra una antena [19].

Es importante mencionar que la ganancia ya viene definida en las antenas, pero un concepto muy utilizado en la ganancia de una antena es el área efectiva, el cual se encuentra relacionado con su tamaño físico y su geometría. De tal manera que la ganancia de una antena y su área efectiva viene dada por la siguiente fórmula:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2} \quad (1)$$

Donde:

$G$  = Ganancia de la antena.

$A_e$  = Área efectiva.

$f$  = frecuencia de la luz portadora.

$c$  = velocidad de la luz ( $\approx 3 \times 10^8$  m/s).

$\lambda$  = longitud de onda de la portadora.

### 1.1.3.3 Ancho de banda

El ancho de banda permite representar la velocidad en la que viajan los datos a través de un canal de transmisión, en otras palabras es la cantidad de datos que puede transmitirse en un solo segundo por algún medio de comunicación que se esté empleando, básicamente esto depende de la capacidad en la que se manejan los bits (unos y ceros) a través del medio de comunicación y de los circuitos electrónicos que forman parte para organizar y administrar la información [34]. En la actualidad los proveedores de equipos tienen softwares que permiten simular con distintos valores respecto al ancho de banda, lo cual permite encontrar datos referentes a la capacidad de transmisión.

#### 1.1.3.4 Línea de vista

La línea de vista hace referencia a un camino sin obstáculos entre las antenas que comparten la comunicación, es decir, la antena de transmisión y la de recepción como se muestra en la Figura 11. Las señales de microondas viajan a través de la línea de visión y no son dobladas por la ionosfera como el caso de las señales de baja frecuencia. Las ondas que viajan en línea recta entre las antenas que comparten la comunicación y que se propagan a través de ondas espaciales directas se la conoce como transmisión por línea de vista (LOS, *line of sight*) [35].

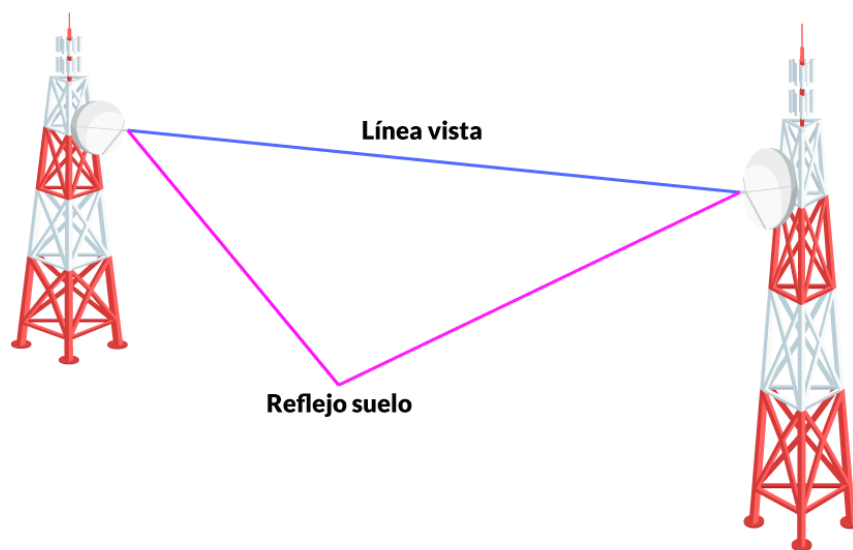


Figura 11. Línea de vista entre dos antenas [36]

#### 1.1.3.5 Zona de Fresnel

La zona de fresnel se conoce al espacio que rodea a la línea de visión directa entre una antena transmisora de ondas electromagnéticas y otra antena que sirve de receptora. Esta zona es un elipsoide [37] como se muestra en la Figura 12, en el que por lo general se presentan una gran pérdida por difracciones debido al bloqueo de las ondas entre el emisor y el receptor, por ende, estos obstáculos como puede ser una montaña o edificio, causan el bloqueo de energía de la zona de fresnel entre dos antenas.

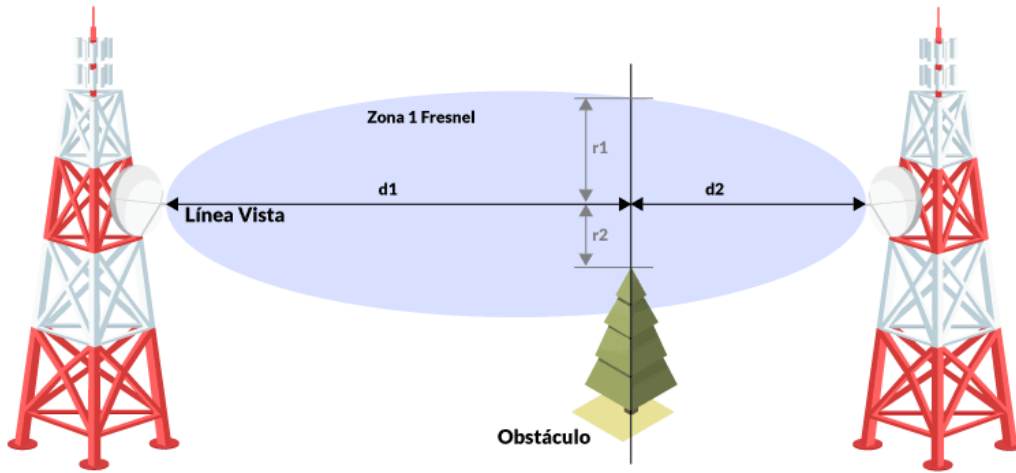


Figura 12. Zona de fresnel entre dos antenas [38]

En la ecuación (2) se describe el  $n$ ésimo radio de zona de Fresnel, el cual se calcula en función de la distancia que existe entre el emisor y el obstáculo ( $d_1$ ) y la distancia que existe entre el receptor y el obstáculo ( $d_2$ ).

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{df}} \quad (2)$$

Donde:

$r$ : Radio  $n$ ésima zona de Fresnel (m)

$d$ : Distancia entre el transmisor y el receptor (km)

$f$ : Frecuencia de operación (GHz)

$d_1$ : Distancia entre el transmisor y el obstáculo (km)

$d_2$ : Distancia entre el receptor y el obstáculo (km)

$n$ : Número de la zona de Fresnel ( $n=1, 2, 3$ )

En la ecuación (3) se presenta una fórmula simplificada del radio máximo de la primera zona de Fresnel para la mitad del trayecto sin obstáculos.

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{d}{4f}} \quad (3)$$

Donde:

$r$ : Radio de la primera zona de Fresnel (m)

$d$ : Distancia entre el transmisor y el receptor (km)

$f$ : Frecuencia de operación (GHz)

### 1.1.3.6 Link Budget

El presupuesto del enlace o también conocido como (*Link Budget*) son todas las ganancias y pérdidas que van desde el lado de transmisión, pasando por el lado de propagación a través de un canal de comunicación, llegando como destino hasta el lado de recepción, como se observa en la Figura 13 [39].

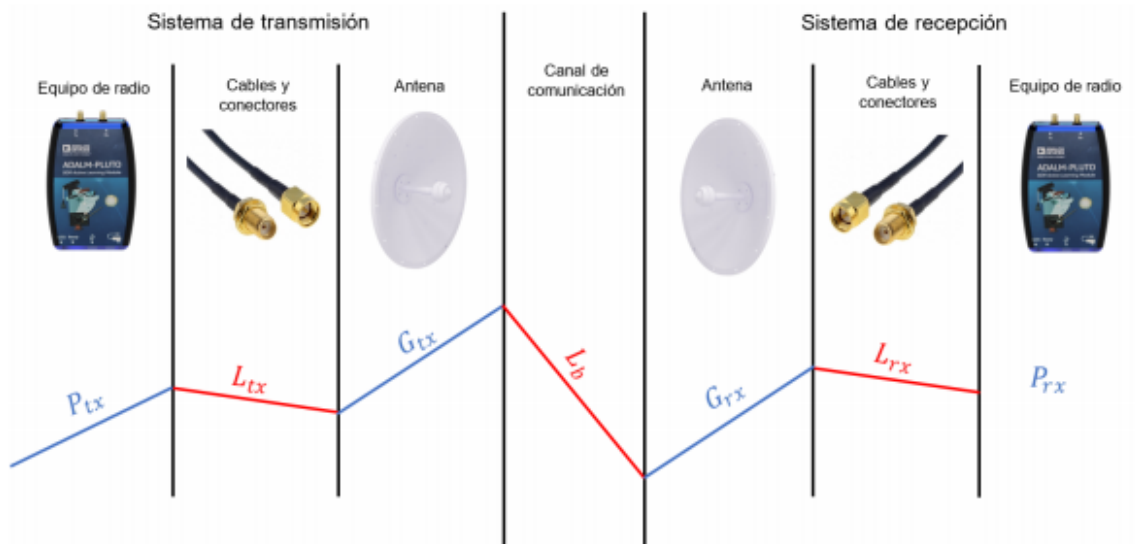


Figura 13. Link Budget [39]

En la ecuación (4) se estima la sensibilidad de recepción que se obtiene mediante la suma de las ganancias y pérdidas de la Figura 13.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx}(dBi) - L_{tx} + L_b - L_{rx} + G_{rx}(dBi) \quad (4)$$

Donde

$P_{rx}$ : Potencia esperada en la recepción.

$P_{tx}$ : Potencia de transmisión.

$G_{tx}$ : Ganancia de la antena transmisora.

$L_{tx}$ : Pérdida por conectores y cables en la transmisión.

$L_b$ : Pérdidas básicas de Propagación (espacio libre e influencia del terreno).

$L_{rx}$ : Pérdida por conectores y cables en la recepción.

$G_{rx}$ : Ganancia de la antena receptora.

Las pérdidas por conectores se estima que serán de 0,5 dB por cada uno. Además, las pérdidas respecto a obstáculos en la línea de vista se garantizan a través del despeje de la zona de Fresnel.

#### **1.1.4 RADIO MOBILE**

Radio Mobile es un software de distribución libre, cuya función es realizar el cálculo de radio enlaces de largas y cortas distancias en terrenos irregulares. Este software hace uso de perfiles geográficos que a su vez combina con la información de ciertos equipos como, por ejemplo, la potencia de la antena, características, sensibilidad del receptor, pérdidas, etc., que se va a llevar a cabo en una simulación. Este maravilloso software cuenta con excelentes prestaciones del modelo *Longley-Rice*, el cual es un modelo de predicción troposférica para la transmisión de radio sobre terrenos irregulares en enlaces de medio y largo alcance [40].

Radio Mobile cuenta con múltiples funciones que permiten diseñar y simular los enlaces y las redes de las telecomunicaciones. En este software se ingresan parámetros reales como son las coordenadas geográficas de una ubicación y las características de una antena transmisora y receptora con la finalidad de reflejar de forma eficaz los equipos reales que se van a utilizar en una posible instalación o implementación [40].

### **1.2 Antecedentes**

Dentro del estudio se realizó una exploración de la literatura relacionada directamente con el objeto de estudio (“Diseño de un sistema de radio enlaces para interconectar campus universitarios”). Dicha investigación fue basada en un protocolo de búsqueda científica la cual estuvo fundamentada en varias cadenas de búsqueda, las cuales se presentan a continuación:

**((“radio” AND “link” OR “radio” AND “links” AND “communications”)) AND ((“university” AND “campus” OR “universities”)), (“radio link” OR “radio links communications”)) AND (“university campus” OR “universities”), (“radio link” OR “radio links communications”) AND “university campus” OR “universities”, (“radio link”) OR “radio links communications”))**

Las cadenas de búsqueda fueron aplicadas en bases documentales como Web of Science y Scopus, bibliotecas digitales como Science Direct, Elsevier, IEEE Xplorer y ACM. Se recuperaron 40 estudios entre el año 2015 al 2020. Debido a que los artículos encontrados no eran 100% relacionados al tema propuesto fue necesario revisar algunas tesis, de los cuales se tomaron en cuenta cinco estudios para elaborar los antecedentes. Los aspectos que se consideran en estos estudios son la parte de software para el cálculo

de radio enlaces y la parte de hardware para la implementación de éstos, al igual que se analiza la forma en la que se conectan varios puntos.

En un primer estudio, propuesto por Durney et al. [41], se realizó el respectivo diseño y la implementación de radio enlaces junto a estaciones repetidoras Wifi para lograr conectar escuelas en las zonas rurales de Chile debido a que se encuentran aisladas de la ciudad, para lo cual primero fue necesario realizar una evaluación de los puntos la cual se realizó con la herramienta de Radio Mobile, la misma que era compatible con las bases de datos de elevación de los distintos terrenos a tomar en cuenta. Debido a que en algunas de las 16 escuelas a las cuales se quería brindar el acceso a Internet no se lograba obtener una línea de vista clara, fue necesario proyectar un repetidor ubicado en el sector más alto de Río Puelo para lograr conectar todas las escuelas con el punto de acceso a Internet, junto a equipos SoeKris net4521 y *routers* inalámbricos WRT54GL se realizaron las respectivas conexiones para lograr el objetivo de este proyecto, las cuales se logró el desarrollo técnico y se permitió verificar el funcionamiento de radio enlaces a largas distancias mediante una topología punto multipunto permitiendo el acceso a Internet con una velocidad de 700 Kbps.

En un segundo estudio, propuesto por Tapias y Camacho [42], se plantea desarrollar un medio de comunicación inalámbrica como son los radio enlaces para conectar el hospital de Purificación con algunos de los puestos de salud debido a que se encuentran en zonas a las que no es posible llegar con una solución alámbrica. Para ello, se realizaron los respectivos cálculos de radio enlaces mediante el software de Radio Mobile donde se llegó a la conclusión de que era factible utilizar equipos de radio enlace InfiLINK XG 1000, producto de INFINET la cual es una antena sectorial lo que permitía utilizar bandas de 4.9 a 6 GHz garantizando un enlace confiable y viable. En este estudio se presentaron dos fases que permitían analizar la viabilidad del radioenlace. La primera fase era la exploratoria la cual fue bastante positiva en cuanto a la recolección de información, lo que permitió avanzar con una segunda fase que consistía en el diseño y simulación de radio enlaces, esta segunda fase era la más importante porque en ella se lograba determinar la viabilidad del radio enlace en cuanto a parámetros como la calidad del enlace, el perfil de elevación y a través de cálculos matemáticos permitiendo realizar un estudio para en un futuro implementarlo junto a la ayuda de la Alcaldía de Purificación.

En un tercer estudio, propuesto por González [43], se realiza un sistema de radio enlaces para comunicar dos plantas de una misma empresa que se sitúan en pueblos contiguos con una línea de visión directa, para lo cual primero se realizó un estudio con la herramienta Radio Mobile y con la ayuda de Google Earth para simular el sistema de radiocomunicación permitiendo obtener los parámetros de la antena receptora, este proyecto se llevó a cabo con antenas airFiber X del fabricante Ubiquiti con las cuales se pudo trabajar con una frecuencia entre 5.1 GHz a 5.9 GHz. Este proyecto se llevó a cabo con total efectividad obteniendo como resultados una mayor velocidad de transmisión de datos de 19 Mbps y la eliminación de la cuota a pagar a una empresa subcontratada de telecomunicaciones. Además, tanto en los análisis y los estudios realizados se obtenían valores teóricos muy similares a los simulados en la herramienta de Radio Mobile, por ende, es muy factible este diseño propuesto. Incluso, se tomaron en cuenta las condiciones meteorológicas de las zonas por lo cual se logró determinar que este radio enlace era fácil y sencillo de implementar.

En un cuarto estudio, propuesto por Naranjo [44], se realiza la implementación de un sistema de radio enlaces para brindar de conexión a Internet a 13 sedes educativas ubicadas en el Valle del Cauca (Colombia), propuesto por el Ministerio de Educación Nacional y el Ministerio de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones. Para ello, primero se realizaron los respectivos cálculos mediante el software Link Planner y Google Earth para verificar la fiabilidad del radio enlace, para lo cual se utilizaron equipos de MikroTik RB2011 y antenas marca Mimosa B5 en montañas muy altas para que exista una línea de vista directa y que este proyecto sea factible. Cabe recalcar que las antenas de marca Mimosa utilizadas en la implementación de este proyecto son muy factibles para la transmisión y recepción de señales a largas distancias, mientras que los equipos de Ubiquiti funcionan perfectamente para la conexión a cortas distancias como puede ser entre 2 a 10 km. De esta manera se destaca al medio inalámbrico debido a que abre un mundo de posibilidades de conexión a Internet gracias a su conectividad a través de equipos electrónicos.

Finalmente, en un quinto estudio, propuesto por Suqui [45], en la provincia de Morona Santiago se realizó el respectivo estudio de un radio enlace a través de la aplicación de Radio Mobile, para posteriormente realizar la implementación a través de equipos MikroTik 433 AH junto con antenas de Plato Hyperlink de 32 dBi para la transmisión de los datos y antenas de Grilla de 27 dBi para la recepción de los datos

ubicadas en torres de telecomunicaciones en montañas altas para que exista una línea de vista sin interrupciones por lo cual este proyecto se llevó a cabo desde la provincia de Azuay hacia los distintos proveedores ubicados en Gualaquiza y Yantaza, colocando antenas en varios cerros ubicados entre estos proveedores utilizando la tecnología MikroTik. En este estudio se presentaron inconvenientes por lo cual recomiendan primero realizar un estudio que garantice la factibilidad del sistema de radio enlaces que se va a desarrollar y entre las configuraciones más importante a destacar se encuentra escoger el canal adecuado para evitar interferencias y que el enlace sea inestable.

En base a estos antecedentes propuestos, en algunos de ellos realizan el estudio y en otros también realizan la parte de la implementación, es por ello, que este estudio se enfoca en determinar la viabilidad de un sistema de radio enlaces para conectar el campus de la sede principal de la PUCESE ubicado en la parroquia de Esmeraldas, con el nuevo campus de esta universidad ubicado en Tachina. En este estudio se determinará con qué frecuencia es la más indicada a utilizar, que marca y tipo de antena es la más idónea, incluyendo todas las características relacionadas a estas, como es la modulación, la polarización, la altura en la que se van a ubicar las antenas sujetas a estudio, entre otros parámetros. Además, se analizarán los gráficos obtenidos por la herramienta de simulación para determinar la existencia de línea de vista y determinar la topología de este sistema de red, al igual que un *Link Budget* con el fin de analizar la factibilidad de este radio enlace que se propone en esta investigación.

### **1.3 Fundamentación legal**

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se utilizarán como bases legales los artículos tomados por la Ley Orgánica de Telecomunicaciones (LOT) [46] aprobada el 18 de febrero del 2015 por medio de la Asamblea Nacional a través del registro oficial N° 439. Además, este proyecto de investigación se basa en el proyecto de normas para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha [47], estipulados a través de la resolución N° 417 en el año 2005 por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). Este proyecto también se fundamenta en la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) [48], reformada el 2 de agosto del 2018 por medio del registro oficial N° 298. También se tomará en cuenta a la Ley de Propiedad Intelectual [49], aprobada por el Congreso Nacional a través del registro oficial N° 320.

De acuerdo con el Art. 9 Redes de telecomunicaciones, estipulado en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, en el Capítulo I Establecimiento y explotación de redes, del Título II Redes y prestación de servicios de telecomunicaciones, indica que:

Los prestadores de servicios de telecomunicaciones darán estricto cumplimiento a las normas técnicas y políticas nacionales, que se emitan para el efecto. Para el caso de redes inalámbricas se deberán cumplir las políticas y normas de precaución o prevención, así como las de mimetización y reducción de contaminación visual. Los gobiernos autónomos descentralizados, en su normativa local observarán y darán cumplimiento a las normas técnicas que emita la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones así como a las políticas que emita el Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, favoreciendo el despliegue de las redes [46].

Por ello se busca explotar los medios de comunicación que existen en la actualidad, como es el caso de la comunicación inalámbrica, a través de un sistema de radio enlaces para comunicar las sedes de la PUCESE ubicadas en la provincia de Esmeraldas, con el fin de desplegar los servicios que brinda la sede principal ubicada en Santa Cruz hacia la nueva sede ubicada en Tachina, y de esta manera cumplir con la normativa que regula el despliegue de redes inalámbricas en el Ecuador.

De acuerdo con el Art. 13 Redes privadas de telecomunicaciones, estipulado en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, en el Capítulo I Establecimiento y explotación de redes, del Título II Redes y prestación de servicios de telecomunicaciones, indica que:

Su operación requiere de un registro realizado ante la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones y en caso de requerir de uso de frecuencias del espectro radioeléctrico, del título habilitante respectivo. Las redes privadas están destinadas a satisfacer las necesidades propias de su titular, lo que excluye la prestación de estos servicios a terceros. La conexión de redes privadas se sujetará a la normativa que se emita para tal fin. La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones regulará el establecimiento y uso de redes privadas de telecomunicaciones [46].

La PUCESE al ser una Institución de Educación Superior Privada requiere de un registro ante la Agencia de Regulación y control de las Telecomunicaciones para poder operar con una respectiva frecuencia en el radio enlace que se pretende diseñar y que

posteriormente se espera construir entre el nuevo campus de Tachina y la Sede principal ubicada en Santa Cruz.

De acuerdo con los anexos del proyecto de normas para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha establecidos a través de una resolución por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones, establece que:

Si la ganancia de la antena direccional empleada exclusivamente en los sistemas fijos punto - punto y que operan en la banda 2400 – 2483.5 MHz es superior a 6 dBi, deberá reducirse la potencia máxima de salida del transmisor, esto es 1 Watt, en 1dB por cada 3 dB de ganancia de la antena que exceda los 6 dBi [47].

Al momento de realizar la simulación con el software de Radio Mobile se necesita datos de entrada como por ejemplo la potencia del transmisor, lo cual se proporciona a través de una ficha técnica con características de las antenas (*datasheet*) del fabricante de las antenas con la cual se va a trabajar en este proyecto, se debe tener en cuenta de que la potencia máxima de la salida del transmisor no sea superior a la establecida en estas normas por el CONATEL, para evitar sanciones debido a que este es el límite de la potencia del transmisor en el Ecuador.

De acuerdo con el Art. 8 Fines de la Educación Superior, estipulado en la Ley Orgánica de Educación Superior, en el Capítulo 2 Fines de la Educación Superior, del Título I Ámbito, objeto, fines y principios del sistema de Educación Superior, indica que se debe: “Impulsar la generación de programas, proyectos y mecanismos para fortalecer la innovación, producción y transferencia científica y tecnológica en todos los ámbitos del conocimiento” [48]. Por lo cual, esta investigación favorece e impulsa el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas, de tal modo que se permita innovar con un sistema de radio enlaces en la ciudad de Esmeraldas por medio de una Institución de Educación Superior tan reconocida como lo es la PUCESE.

Finalmente, de acuerdo con el Art. 4, estipulado en la Ley de Propiedad Intelectual, en el Libro I De los derechos de autor y derechos conexos, del Capítulo I Del derecho de autor, Sección I Preceptos Generales, indica que: “Se reconocen y garantizan los derechos de los autores y los derechos de los demás titulares sobre sus obras” [49]. Es por ello por lo que todos los trabajos que han sido recopilados para esta investigación han sido citados y respetados cada uno por los derechos de su autor, permitiendo que este proyecto se lleve a cabo con el cumplimiento de la ley para evitar futuros problemas legales.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1 Delimitación**

La presente investigación se desarrolló concretamente para analizar la factibilidad de un sistema de radio enlaces a través de diferentes casos estudiados con la ayuda de las herramientas de Radio Mobile y Google Earth y para comprobar la viabilidad de los enlaces a través del *Link Budget* con el apoyo de estos softwares y la herramienta de AirLink de Ubiquiti a través de simulaciones entre los campus universitarios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas. Esta investigación se llevó a cabo en la ciudad de Esmeraldas, con el fin de realizar un estudio para el cálculo de radio enlaces en terrenos irregulares a través de una simulación en un software que permitió la conexión desde un punto situado en el campus Santa Cruz ubicado en una zona urbana en la parroquia de Esmeraldas, calle Espejo y subida a Santa Cruz, con otro punto ubicado en el campus de Tachina que se encuentra en una zona rural en la parroquia Tachina, en el sector KM. 2.0 vía Tachina – El Tigre.

Se culminó con la etapa de investigación y análisis de la información en el mes de mayo de 2021, y posteriormente se continuó con la fase de desarrollo en el mes de junio, julio y septiembre del mismo año, esta etapa se ejecutó en un tiempo aproximado de tres meses, debido a que se trasladó hasta ambos sitios en reiteradas ocasiones y se obtuvo datos geográficos como las coordenadas de latitud y longitud a través de un sistema de posicionamiento global (*GPS*), luego se realizó un estudio previo en el que se analizó las bandas licenciadas y no licenciadas, al igual que la frecuencia correspondiente a la banda no licenciada seleccionada. Además, se analizó factores ambientales y geográficos de las zonas sujetas a estudio, se escogió equipos con las mejores tecnologías posibles, para la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas y posteriormente se realizó la respectiva simulación y el cálculo del radio enlace.

### **2.2 Tipos de investigación**

Para la realización de este estudio y en base a los objetivos planteados en este proyecto de investigación se consideró el tipo de investigación por los medios para obtener los datos como es el tipo de investigación de campo y de laboratorio. Además, se consideró un tipo de investigación con un enfoque mixto según la naturaleza de los datos y la

información, es decir, esta investigación se encontró con un enfoque cualitativo y cuantitativo.

Como primer tipo de investigación, en este estudio se presentó la investigación de campo, “es aquel estudio que se realiza en el lugar donde se realizan los hechos, en pocas palabras donde el investigador participa directamente” [50]. Este proyecto de investigación utilizó este tipo debido a que se tomó coordenadas geográficas en los puntos a conectar, y en posibles puntos en los que se simuló colocar un repetidor mediante el software Radio Mobile. Además, se analizó los terrenos, y su factibilidad en cuanto a costos sobre colocar o no torres tan altas para las antenas, tomando en cuenta que las torres ventadas para los radios enlaces deben cumplir con un estándar internacional de espacio de terreno para cada altura de las torres.

Como segundo tipo, en este estudio se presentó un enfoque de investigación cualitativa, “es aquella que estudia la calidad de los medios, actividades, materiales o instrumentos en una situación o problema” [51]. Es por ello, por lo que este tipo de estudio fue necesario en la realización de esta investigación, debido a que se analizó los puntos a conectar, el terreno de ambos puntos, bandas y frecuencias del espectro radio eléctrico en el Ecuador, al igual que las características de las antenas y factores que influyen en las señales electromagnéticas, en base a ello se determinó un conjunto de radios y antenas que permitieron realizar las respectivas simulaciones del radio enlace entre los puntos a conectar.

También se presentó un enfoque de investigación cuantitativa, “es aquella en la se obtienen datos cuantitativos para luego ser analizados sobre variables y determinar la fuerza de correlación entre variables” [52]. Esta investigación abarcó ampliamente este enfoque cuantitativo debido a que se debió validar datos en el sistema de la herramienta de Radio Mobile para ejecutar la simulación, y una vez realizada ésta, se evaluaron los resultados obtenidos a partir de valores del *Link Budget* lo cual permitió determinar la viabilidad del sistema de radio enlaces.

Además, este proyecto utilizó el tipo de investigación de laboratorio, “es aquel que se crea a través de un ambiente artificial, como es el caso de un laboratorio o un centro de simulaciones” [53]. Es por ello, por lo que este proyecto se desarrolló a través de simulaciones a través del software de Radio Mobile con la ayuda de Google Earth en las que se observó y se planteó tres casos diferentes sujetos a estudio en los cuales se simuló

la conexión entre ambos campus de la universidad, por consiguiente se simuló el radio enlace con el caso más factible en el que se trabajó con una banda y frecuencia asignada, se seleccionó antenas y radios con las se obtuvo resultados y posteriormente se planteó una propuesta que sería la más conveniente para la universidad, lo cual permitió analizar la viabilidad de un sistema de radio enlaces.

### **2.3 Métodos de investigación**

Para esta investigación se utilizaron varios métodos los cuales permitieron obtener como resultado la efectividad de un sistema de radio enlaces propuesto para conectar los campus de la PUCESE en la ciudad de Esmeraldas. Para ello, en esta investigación se utilizaron métodos de tipo general como son el método inductivo y deductivo. Además, se requirió utilizar un método de tipo específico como lo es el experimental para llevar a cabo esta simulación y analizar los resultados.

Como primer tipo de razonamiento se presentó el método deductivo, “el cual permite organizar las premisas en silogismos que proporcionan una prueba decisiva que sirve de validez ante una conclusión” [54]. En este método se realizó una investigación profunda acerca de las comunicaciones inalámbricas, en especial los radio enlaces y su viabilidad debido a que este era el tema de investigación con el fin de plantear una propuesta de comunicación inalámbrica entre los campus de la PUCESE.

Como segundo tipo de razonamiento se planteó el método inductivo, “el cual el investigador establece conclusiones generales basándose en hechos o resultados recopilados a través de la observación directa” [54]. Este método se lo aplicó cuando se obtuvo las respectivas visualizaciones del enlace en cada uno de los casos posibles a realizar el radio enlace a través de la herramienta de simulación de Radio Mobile, lo que permitió llegar a la conclusión de cuál fue la mejor opción a tomar para realizar el diseño y cálculo del radio enlace.

Además, en este proyecto se utilizó el método experimental, “permite al investigador manipular una o más variables sujetas a estudio y de esta manera controlar el aumento o la disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas” [55]. Para ello se desarrolló una simulación con una frecuencia sujeta a estudio, de igual manera se determinó los equipos de radio y antenas para la conexión entre un punto y otro, al igual que la topología a implementar para en base a estos indicadores obtener parámetros más

detallados, por ende, se analizó la viabilidad de un sistema de radio enlaces que permitió conectar ambos campus de la universidad a través de una simulación.

## **2.4 Población y muestra**

Para este proyecto de investigación se planteó como población al departamento de TIC de la PUCESE debido a que en este punto se determinó la conexión a la primera antena que hace de transmisor. Debido a que la población planteada era muy pequeña no se dispuso de muestra. Además, en este departamento se controlan las redes alámbricas e inalámbricas en la PUCESE, y a su vez el personal de TIC se encargaría de monitorear el sistema de radio enlaces junto al jefe del departamento y un experto en telecomunicaciones inalámbricas proveyendo Internet desde la sede principal hasta el nuevo campus de Tachina en caso de que se realice la implementación.

## **2.5 Variables de investigación**

En la presente investigación se estudiaron cuatro variables, que son: medio de comunicación (Tabla 4), elementos del radio enlace (Tabla 5), software Radio Mobile (Tabla 6) y *Link Budget* (Tabla 7). Estas cuatro variables tuvieron como finalidad, ayudar a comprender la parte de investigación y posteriormente se utilizaron estas variables para obtener los resultados del proyecto cuando se desarrolló el mismo.

Para una mejor comprensión acerca de los indicadores que se observan en las diferentes tablas antes mencionadas de la operacionalización de las variables, se presentó una breve descripción de lo que significa cada uno de ellos, y a su vez se describió la unidad de medida en el caso de que sea un indicador cuantitativo, y una forma de medir o representar en cuyo caso sea de tipo cualitativo.

### **Variable: Medio de comunicación**

Como primera variable se presenta en la Tabla 4 al medio de comunicación, esta variable está compuesta de una dimensión en la que hace referencia al medio no guiado o “inalámbrico”, específicamente a un radio enlace. Esta a su vez está conformada por 12 indicadores que permitieron levantar información acerca de los enlaces de radio como medio inalámbrico sujeto a estudio.

Tabla 4. Variable medio de comunicación

Variable	Conceptualización	Dimensiones	OPERACIONALIZACIÓN	
			Indicadores	Tipo de variable
Medio de comunicación	Es el medio por el cual se realiza la transmisión de información entre puntos distantes, mediante señales eléctricas, las cuales pueden enviar o recibir a través de un medio guiado o no guiado.	Medios Inalámbricos (Radio enlace)	Tiempo de ejecución	Cuantitativa
			Tiempo de implementación	Cuantitativa
			Seguridad	Cualitativa
			Estética	Cualitativa
			Infraestructura	Cualitativa
			Movilidad	Cualitativa
			Velocidad de transmisión	Cualitativa
			Interferencia	Cualitativa
			Dependencia	Cualitativa
			Cobertura	Cualitativa
			Efectividad	Cualitativa
Costos de instalación	Cualitativa			

#### Indicadores de la dimensión: Medios Inalámbricos (Radio enlace)

- **Tiempo de ejecución:** Hace referencia al tiempo en el que se ejecuta el estudio y el diseño de la comunicación alámbrica o inalámbrica. Este indicador se mide a través del tiempo como pueden ser semanas o meses.
- **Tiempo de implementación:** Hace referencia al tiempo en el que se ejecuta el proyecto de implementación de comunicación alámbrica o inalámbrica. Este indicador se mide a través del tiempo como puede ser semanas o meses.
- **Seguridad:** Se refiere a la protección de la conexión, para evitar robo mediante aplicaciones web por intrusos. Este indicador se mide a través de niveles de seguridad, como puede ser bajo, medio o alto.
- **Estética:** Se refiere a la forma en la que se encuentra estructurada la red, sea por medios guiados o no guiados. Este indicador se mide a través de una escala como puede ser mala, regular, buena, excelente.
- **Infraestructura:** Se refiere a que, en el medio de comunicación, sea alámbrico o inalámbrico, se encuentre limitado por un número de puertos en el *router*. Este indicador se mide a través de una escala cualitativa como, por ejemplo, mala, regular, buena.

- **Movilidad:** Se refiere a la dificultad para mover los puntos de red en el caso del medio alámbrico y la dificultad para mover los dispositivos electrónicos en el caso de un medio inalámbrico. Este indicador se mide a través de una escala, como puede ser fácil, regular, difícil.
- **Velocidad de transmisión:** Se refiere al tiempo que tarda un servidor en poner en la línea de transmisión el paquete de datos a enviar. Este indicador se mide a través de una escala en la que se mide la velocidad de transmisión de los datos, por ejemplo, poca, media, rápida.
- **Interferencia:** Hace referencia a alguna perturbación que pueda existir en el medio de comunicación, bien sea el caso de alámbrica o inalámbrica. Este indicador se puede medir en una escala de bajo, medio o alto.
- **Dependencia:** Se refiere a las conexiones de cada red, si es el caso de que se desconecte un cable, le medio por el cual se encuentra funcionando la red siga funcionando o no, este indicador se lo puede medir a través de un sí o un no.
- **Cobertura:** Se refiere al rango de alcance de una red para el caso de las redes alámbricas o las redes inalámbricas. Este indicador se mide a través de corto alcance, larga alcance, limitado.
- **Efectividad:** Se refiere al nivel de efectividad en el cual se toma en cuenta donde se va a realizar la instalación de la red para determinar si es más conveniente implementar los medios alámbricos o inalámbricos. Este indicador se puede medir a través de una escala como puede ser, poco efectiva, efectiva, muy efectiva.
- **Costos de instalación:** Se refiere al monto total a invertir en implementar una red de comunicación alámbrica o inalámbrica. Se indicador se mide a través de una escala como es el caso de, poco costoso, costoso, muy costoso.

### **Variable: Elementos del radio enlace**

En esta segunda variable elementos del radio enlace que se presenta en la Tabla 5, está conformada por tres dimensiones, como son las bandas, antenas y puntos que hacen referencia a los elementos del radio enlace, en la primera dimensión “bandas” se tiene dos indicadores, la segunda dimensión “antenas” está conformada por cuatro indicadores y por último se presenta la dimensión “puntos” con un solo indicador. Esta variable tuvo

como objetivo estudiar las posibles bandas a utilizar en este diseño de radio enlaces, todo lo relacionado a las antenas y la distancia entre los puntos a conectar.

Tabla 5. Variable elementos del radio enlace

Variable	Conceptualización	Dimensiones	OPERACIONALIZACIÓN	
			Indicadores	Tipo de variable
Elementos del radio enlace	Son los aspectos más importantes para determinar al momento de crear un sistema de radio enlaces.	Bandas	Frecuencia	Cuantitativa
			Capacidad de potencia	Cualitativa
		Antenas	Marca	Cualitativa
			Tipo	Cualitativa
			Polarización	Cualitativa
			Modulación	Cualitativa
		Puntos	Distancia	Cuantitativa

#### Indicadores de la dimensión: Bandas

- **Frecuencia:** Es el número de ciclos por segundo de una onda sinusoidal de corriente alterna. La unidad de medida es el Hercio (Hz).
- **Capacidad de potencia:** Es la designación de frecuencia que tiene una banda del espectro radioeléctrico. Este indicador se mide a través de una escala compuesta de los siguientes niveles: muy baja frecuencia, baja frecuencia, media frecuencia, etc.

#### Indicadores de la dimensión: Antenas

- **Marca:** Hace referencia a varias líneas o a una identificación comercial de las antenas para lograr la comunicación entre dos lugares. Este indicador se mide a través de las marcas de equipos comerciales como por ejemplo la marca Ubiquiti.
- **Tipo:** Se refiere a la forma en la que la antena emite o esparce las ondas electromagnéticas en el espacio libre. Este indicador se mide a través de los diferentes tipos establecidos como por ejemplo direccionales, omnidireccionales, sectoriales, entre otros.
- **Polarización:** Indica la orientación del campo electromagnético que emite o recibe una antena. Este indicador se mide a través de orientaciones como por ejemplo vertical, horizontal, doble polarización, entre otros.
- **Modulación:** Es la incorporación de la información contenida en una señal, por lo general de baja frecuencia sobre una señal de alta frecuencia. Este indicador se

mide a través de diferentes modulaciones establecidas como la AM, FM, entre otras.

### Indicadores de la dimensión: Puntos

- **Distancia:** Es una medida cuantitativa para determinar la longitud del segmento a través de una recta que une varios puntos. La unidad de medida es en kilómetros (km).

### Variable: Software Radio Mobile

Como tercera variable de estudio se presenta al software Radio Mobile como se observa en la Tabla 6, esta variable está compuesta por tres dimensiones que son: datos geográficos, topología y sistema. En la primera dimensión “datos geográficos” se tiene dos indicadores, la segunda dimensión “topología” está compuesta por un solo indicador y por último la dimensión “sistema” está conformada por siete indicadores. Esta variable tuvo como finalidad estudiar al software e identificar parámetros que se usaron en la herramienta al momento de simular la conexión del radio enlace.

Tabla 6. Variable software Radio Mobile

Variable	Conceptualización	Dimensiones	OPERACIONALIZACIÓN	
			Indicadores	Tipo de variable
Software Radio Mobile	Es un software de distribución libre que permite realizar el cálculo de radio enlaces de largas distancias en terrenos irregulares.	Datos geográficos	Latitud	Cuantitativa
			Longitud	Cuantitativa
		Topología	Tipo	Cualitativa
		Sistema	Potencia de transmisión	Cuantitativa
			Umbral del receptor	Cuantitativa
			Pérdida de línea	Cuantitativa
			Tipo de antena	Cualitativa
			Ganancia de la antena	Cuantitativa
			Altura de la antena	Cuantitativa
			Pérdida de cable adicional	Cuantitativa

### **Indicadores de la dimensión: Datos geográficos**

- **Latitud:** Es la distancia angular que existe entre el plano del Ecuador y un punto determinado de la Tierra. Este indicador se mide en grados, minutos y segundos sobre los meridianos.
- **Longitud:** Es la distancia angular que se encuentra entre un punto dado de la zona terrestre y el meridiano que se toma como 0°. Este indicador se mide en grados, minutos y segundos.

### **Indicadores de la dimensión: Topología**

- **Tipo:** Hace referencia al mapa físico o lógico con el cual está construido la red para el intercambio de datos. Este indicador se mide en punto a punto, punto multipunto, entre otros.

### **Indicadores de la dimensión: Sistema**

- **Potencia de transmisión:** Representa el nivel de potencia que emite un equipo inalámbrico. Este indicador se mide a través de miliwatts (mW) o también a través de decibelios-milivatios (dBm).
- **Umbral del receptor:** Es la potencia mínima recibida de la señal en un puerto de antena que permite que los receptores decodifiquen una señal dada con precisión. Este indicador se mide a través de microvoltios ( $\mu\text{V}$ ) o también a través de decibelios-milivatios (dBm).
- **Pérdida de línea:** Es una medida para indicar las pérdidas en decibelios asociados a el cable coaxial que conecta a la antena, los pigtails y los conectores. La unidad de medida son los decibelios (dB).
- **Tipo de antena:** Se refiere a la forma en la que la antena emite o esparce las ondas electromagnéticas en el espacio libre. Este indicador se mide a través de los diferentes tipos establecidos como por ejemplo direccionales, omnidireccionales, sectoriales, entre otros.
- **Ganancia de la antena:** Es la relación que existe entre la densidad de potencia transmitida en una dirección y la densidad de potencia que difundiría una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena. Este indicador se mide a través de la ganancia de antena en dB por encima de un

radiador isotrópico (dBi) o también se mide a través de la ganancia de antena en dB por encima de una antena dipolo de media onda resonante (dBd).

- **Altura de la antena:** Es la longitud o la distancia que existe entre el suelo y un determinado punto en el espacio ubicado en forma vertical o en la dirección de la gravedad. Este indicador se mide en metros (m).
- **Pérdida de cable adicional:** Es una medida de pérdida extra que está asociada a la altura en la que se encuentra la antena. Este indicador se mide a través de dB/m.

### Variable: *Link Budget*

Finalmente, se presenta una cuarta variable llamada *Link Budget* como se muestra en la Tabla 7, esta variable está conformada por tres dimensiones que hacen referencia a los lados de transmisión, propagación y recepción. La dimensión “lado de transmisión” está conformada por tres indicadores, la segunda dimensión acerca del “lado de propagación” está conformada por dos indicadores y por último el “lado de recepción” está constituido por tres indicadores. Esta variable permitió obtener las ganancias y pérdidas del enlace que va desde un punto a otro.

Tabla 7. Variable *Link Budget*

Variable	Conceptualización	Dimensiones	OPERACIONALIZACIÓN	
			Indicadores	Tipo de variable
<i>Link Budget</i>	Es una forma de contabilizar todas las pérdidas y ganancias de energía que percibe una señal de comunicación a través de un sistema de telecomunicaciones	Lado de transmisión	Potencia de transmisión	Cuantitativa
			Pérdidas en el cable	Cuantitativa
			Ganancia de antena	Cuantitativa
		Lado de propagación	FSL (Pérdida en el espacio libre)	Cuantitativa
			Zona de Fresnel	Cuantitativa
		Lado de recepción	Ganancia de antena	Cuantitativa
			Pérdidas en el cable	Cuantitativa
			Sensibilidad del receptor	Cuantitativa

### **Indicadores de la dimensión: Lado de transmisión**

- **Potencia de transmisión:** Representa el nivel de potencia que emite un equipo inalámbrico. Este indicador se mide a través de miliwatts (mW) o también a través de decibelios-milivatios (dBm).
- **Pérdidas en el cable:** Es una medida relacionada a la pérdida de las señales de radio en cuanto al largo del cable que va hacia la antena. Mientras más corto y costoso sea el cable menor será la pérdida de la señal. Este indicador se mide a través en decibeles (dB).
- **Ganancia de antena:** Es la relación entre la potencia producida por la antena, desde una fuente de campo lejano en el eje del haz de la antena y la potencia producida por una hipotética antena isotrópica sin pérdidas. Este indicador se mide a través de la ganancia de antena en dB por encima de un radiador isotrópico (dBi) o también se mide a través de la ganancia de antena en dB por encima de una antena dipolo de media onda resonante (dBd).

### **Indicadores de la dimensión: Lado de propagación**

- **FSL o (Pérdida en el espacio libre):** Hace referencia a la potencia de la señal que se pierde en el aire o espacio libre, permitiendo medir la potencia de las ondas de radio que se pierden sin ningún tipo de obstáculo. Este indicador se mide en decibeles (dB).
- **Zona de Fresnel:** Es el espacio alrededor del eje que permite la transferencia de potencia desde el transmisor hasta el receptor. Este indicador se mide a través de ángulos.

### **Indicadores de la dimensión: Lado de recepción**

- **Ganancia de antena:** Es la relación entre la potencia producida por la antena, desde una fuente de campo lejano en el eje del haz de la antena y la potencia producida por una hipotética antena isotrópica sin pérdidas. Este indicador se mide a través de la ganancia de antena en dB por encima de un radiador isotrópico (dBi) o también se mide a través de la ganancia de antena en dB por encima de una antena dipolo de media onda resonante (dBd).
- **Pérdidas en el cable:** Es una medida relacionada a la pérdida de las señales de radio en cuanto al largo del cable que va hacia la antena. Mientras más corto y

costoso sea el cable menor será la pérdida de la señal. Este indicador se mide a través en decibeles (dB).

- **Sensibilidad del receptor:** Permite determinar el nivel de señal más endeble que el receptor es capaz de recibir con una buena reproducción tolerable de la señal modulante original. Este indicador se mide en dB/m.

## 2.6 Técnicas de investigación e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos del presente proyecto de investigación, acerca de las variables a tomar en cuenta con las cuales se desarrolló la investigación y ejecución, se utilizaron tres técnicas de investigación, las cuales fueron: encuesta, entrevista y diseño de experimento.

Como primera técnica se aplicaron encuestas al departamento de TI de la PUCESE, con la finalidad de levantar información acerca de la importancia y la factibilidad de contar con un medio redundante como es el caso inalámbrico a través de radio enlaces que permitan comunicar los campus de la sede de Esmeraldas. Esta encuesta se llevó a cabo en el mes de mayo del 2021. Para ello, se dispuso de un cuestionario de 10 preguntas dicotómicas (SI o NO) que se encuentran en el Anexo 1, las mismas que permitieron conocer la importancia de tener un medio redundante de comunicación como es el medio inalámbrico a través de radio enlaces.

Como segunda técnica se aplicaron entrevistas a docentes expertos en radio enlaces de diferentes universidades tanto de la ciudad de Esmeraldas en Ecuador como de otros países con la finalidad de determinar el caso más factible con el cual conectar el campus de Santa Cruz con el campus de Tachina de la PUCESE. Además, se aplicaron una serie de entrevistas a expertos que trabajan en diferentes empresas de Telecomunicaciones que contribuyeron con sus opiniones respecto a las tecnologías con las cuales trabajar en este estudio, permitiendo levantar información de gran ayuda para la ejecución de esta investigación.

Para desarrollar este proyecto se tuvo que tomar las coordenadas geográficas de los puntos a conectar, para ello, se utilizó un *GPS* de mano marca GARMIN, modelo 62s, que cuenta con un compás de tres ejes con inclinación compensada, un altímetro barométrico y sobre todo con la compatibilidad de mapas personalizados e imágenes satelitales de BirdsEye permitiendo proporcionar un mapa base mundial con el cual se

obtuvo las coordenadas de latitud y longitud tanto en los puntos a conectar como también en otros puntos posibles en los cuales se debía colocar un repetidor para poder comunicar los campus de la universidad. También, se utilizó las herramientas de Radio Mobile y Google Earth, los cuales proporcionaron otros datos geográficos en los que se comparó con el GPSMAP 62s, para comprobar la veracidad de los datos recolectados.

Además, en este estudio se utilizó la técnica del diseño de experimento, la cual se llevó a cabo a través de una simulación en el mes de julio del 2021 a través del software de Radio Mobile junto con la ayuda de Google Earth con los cuales se visualizaron los mapas geográficos de los dos puntos a conectar, y se determinó la factibilidad y viabilidad de un sistema de radio enlaces entre un punto ubicado en una zona urbana y otro punto en una zona rural, posteriormente, se diseñó un sistema en el que se logró comunicar estos dos campus de la sede a través de una frecuencia estudiada y a su vez determinó qué equipos tecnológicos eran los más convenientes a utilizar. Para ello, este experimento se encuentra descrito en el Anexo 2 de este proyecto.

## 2.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de las encuestas realizadas se utilizó el método de Kuder Richardson para comprobar la validez y confiabilidad de las encuestas realizadas al departamento de TI, en las cuales se obtuvo más del 70% de confiabilidad, demostrando que fue un instrumento seguro el que se aplicó para esta investigación.

Tabla 8. Método de Kuder Richardson aplicado a las encuestas

ITEMS											
N°	Item1	Item2	Item3	Item4	Item5	Item6	Item7	Item8	Item9	Item10	Σ
1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	8
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9
3	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	6
4	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	7
5	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	7
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	8
7	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	3
p	0,71	1,00	1,00	0,86	0,71	0,14	0,57	1,00	0,57	0,29	3,81
q=(1-p)	0,29	0,00	0,00	0,14	0,29	0,86	0,43	0,00	0,43	0,71	
p*q	0,20	0,00	0,00	0,12	0,20	0,12	0,24	0,00	0,24	0,20	1,35
<b>KR(10)</b>	0,72										

A través de este método de Kuder Richardson se determinó que este instrumento aplicado resultó ser seguro con un 72% de confiabilidad, el mismo que se adjunta en el siguiente enlace: <https://bit.ly/3ufoitw>

Posteriormente, para el análisis de los datos se empleó la estadística descriptiva, la cual permitió recolectar un conjunto de datos geográficos que fueron transformados al sistema sexagesimal y utilizados en los softwares de Radio Mobile y Google Earth. También, se utilizó esta técnica para analizar los datos obtenidos por la herramienta de Radio Mobile utilizada en esta simulación.

Entre otra de las técnicas se empleó la visualización de datos, a través de gráficos proporcionado por el software Radio Mobile en donde se determinó se existía línea de vista y si la zona de fresnel se veía afectada o no entre los distintos puntos. Esta fue una técnica muy importante debido a que se presentaron obstáculos como una gran montaña entre los campus a conectar, para lo cual se tuvo que dar solución a ello por medio de una estación repetidora presentada en diferentes casos y en base a ello se determinó el número de enlaces y la topología de la red. Cabe mencionar que el software de Google Earth cumplió un papel fundamental en el análisis de las zonas de fresnel, debido a que a través de este programa se pudo determinar si alguno de los enlaces sujetos a estudio se veía afectado por alguna montaña que fueron los obstáculos que más se presentaron al momento de analizar un enlace entre un sitio y otro.

Además, se utilizó técnicas de análisis espacial a través del software Radio Mobile con el cual se evaluaron los terrenos de las zonas a conectar, tanto de Santa Cruz, Tachina y los distintos ubicaciones donde se pudo determinar un punto clave para colocar una repetidora y triangular las ondas para comunicar ambos campus, de igual manera se analizó las zonas de precipitación en la que se encontraba cada uno de estos dos puntos a conectar y se determinó la efectividad del radio enlace entre los dos puntos sujetos a estudio.

## **2.8 Normas éticas**

Para la investigación del presente proyecto de tesis, titulado “Diseño de un sistema de radio enlaces para interconectar campus universitarios. Caso de estudio PUCESE”, se respetó todas y cada una de las normativas inherentes de acuerdo con lo establecido por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, con la finalidad de

cumplir con las normas y leyes que establece la institución. También se respetó todos los derechos de autor en cuanto a los trabajos relacionados a este proyecto de investigación tomados de bases documentales como Web of Science y Scopus, bibliotecas digitales como Science Direct, Elsevier, IEEE Xplorer y ACM, por lo cual fueron citados correctamente para evitar conflictos con los autores propios de dichos documentos.

Además, para el desarrollo de este proyecto de tesis se tuvo como norma ética fundamental la validez científica, debido a que no se alteraron los resultados que se obtuvieron para determinar la efectividad del sistema de radio enlaces que se ejecutó y diseñó en el mes de julio del 2021. Por lo tanto, fue de suma importancia no alterar ningún dato que se introdujo en la herramienta de Radio Mobile, al igual de que no inventó ni se modificó ningún valor específico de las antenas, debido a que todo esto está proporcionado en el *datasheet* del proveedor de los equipos de radio y antenas, por ende, se utilizó los valores asignados en cada uno de ellos para evitar equivocaciones a la hora de simular y obtener los resultados del radio enlace.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a través de un análisis bibliográfico con el cual se recuperaron estudios previos al desarrollo de esta investigación al igual que los resultados logrados para cada uno de los objetivos planteados en este estudio. Para ello, se llevó a cabo una investigación de campo en la que se analizó los puntos a conectar y de posibles puntos intermedios que sirvan como repetidor para realizar las respectivas simulaciones y conocer la factibilidad de la conexión entre ambos campus de la PUCESE y la viabilidad cuando se determinó cada una de las características del radio enlace.

### Análisis bibliográfico

Para esta investigación se obtuvieron estudios referentes al tema de diseño de radio enlaces y comunicaciones inalámbricas, de los cuales se obtuvieron de distintas bases documentas y bibliotecas digitales como se presenta en la Tabla 9.

*Tabla 9. Ecuaciones aplicadas en la búsqueda*

Fuente de información	Ecuación de búsqueda	Documentos obtenidos
<b>Scopus</b>	(TITLE-ABS-KEY ((radio AND link OR radio AND links AND communications)) AND TITLE-ABS-KEY ((university AND campus OR universities))) AND PUBYEAR > 2014	139
	(TITLE-ABS-KEY (“radio link” OR “radio links communications”) AND TITLE-ABS-KEY (“university campus” OR “universities”)) AND PUBYEAR > 2014	46
<b>IEEE</b>	(("All Metadata": radio link OR radio links communications) AND "All Metadata": university campus OR universities)	974166
	(("All Metadata": “radio link”) OR "All Metadata": “radio links communications”)	540
<b>ACM</b>	[[All: "radio link"] OR [All: "radio links communications"]] AND [[All: "university campus"] OR [All: "universities"]] AND [Publication Date: (01/01/2015 TO 12/31/2020)]	8
	[All: "radio link"] OR [All: "radio links communications"] AND [Publication Date: (01/01/2015 TO 12/31/2020)]	241
<b>Web of Science</b>	(Radio link OR radio links communications) AND TEMA: (university campus OR universities) AND TEMA: (radio mobile)	41

Previo a los estudios obtenidos en las diferentes bases documentales y bibliotecas digitales, se aplicaron filtros de búsqueda para los cuales se obtuvieron los estudios más apropiados al tema de investigación como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Ecuaciones posteriores al filtro de lectura

Fuente de información	Ecuación de búsqueda	Resultados
<b>Scopus</b>	(System radio link OR system radio links communications) AND (university campus OR universities)	18
<b>IEEE</b>	((Radio link OR radio links communications) AND university campus OR universities)	9
<b>ACM</b>	(Radio link OR radio links communications) AND (university campus OR universities)	2
<b>Web of Science</b>	(Radio link OR radio links communications) AND (university campus OR universities) AND (radio mobile)	1
	<b>Total</b>	30

En esta investigación se obtuvieron 30 estudios recopilados de distintas bases documentales y bibliotecas digitales, los cuales se encuentran relacionados al tema de investigación. En la Figura 14 se presenta el diagrama realizado para la obtención de los estudios recopilados en esta investigación.

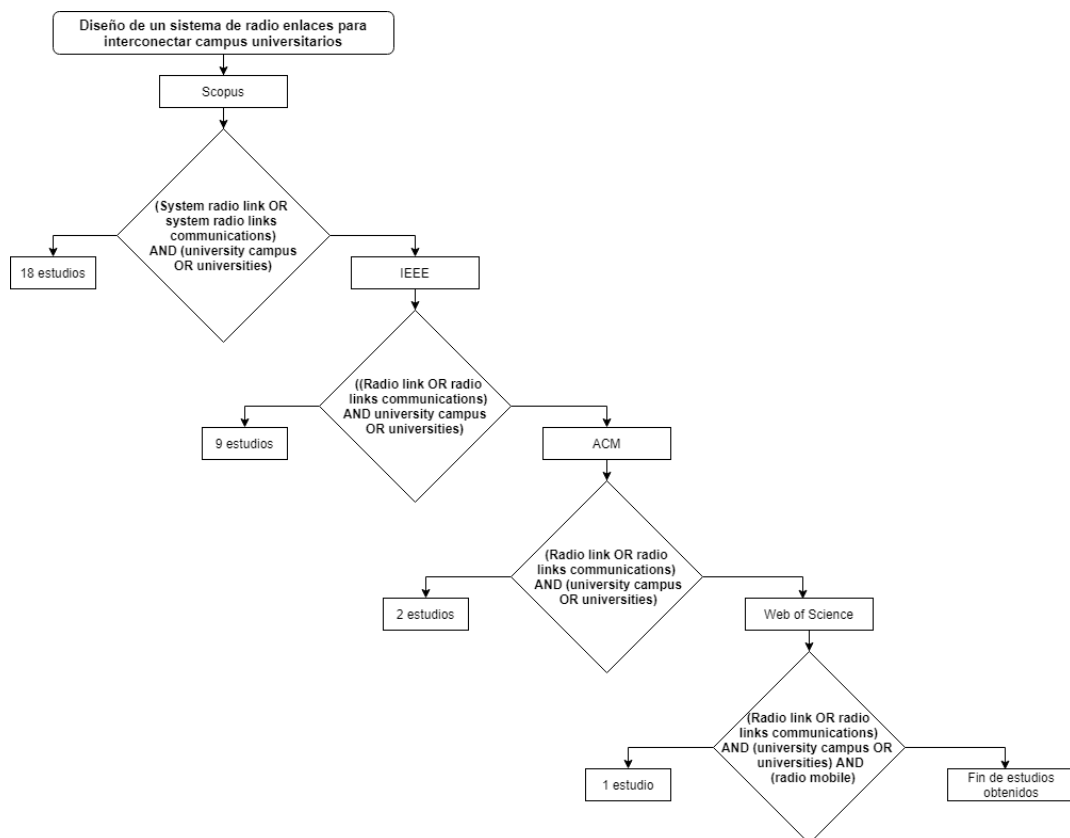


Figura 14. Diagrama aplicado a la búsqueda de estudios

### 3.1 Análisis de los puntos a conectar

Para lograr conectar ambos campus de la universidad en principio fue necesario ir a los puntos que se requiere conectar y realizar una investigación previa de cada uno de ellos como se muestra en la Figura 15 para conocer la viabilidad de estos a través de la existencia de línea de visión a simple vista del ojo humano y posteriormente comprobar a través de simulaciones o softwares que permitieron visualizar si existía o no. Es por ello, que una vez obtenidas las coordenadas con el GPSMAP GARMIN 62s, a través de un estudio de campo se analizó el punto más idóneo en cada una de las localizaciones con el cual se trabajó en las respectivas simulaciones de prueba. Es importante mencionar, que las diferentes coordenadas obtenidas para cada ubicación fueron comprobadas tanto manualmente como a través de distintos softwares (Arc Geek, Radio Mobile, Google Earth) al realizar las respectivas conversiones de un sistema a otro, obteniendo los mismos resultados para los cálculos obtenidos que se presentan en cada una de las tablas.

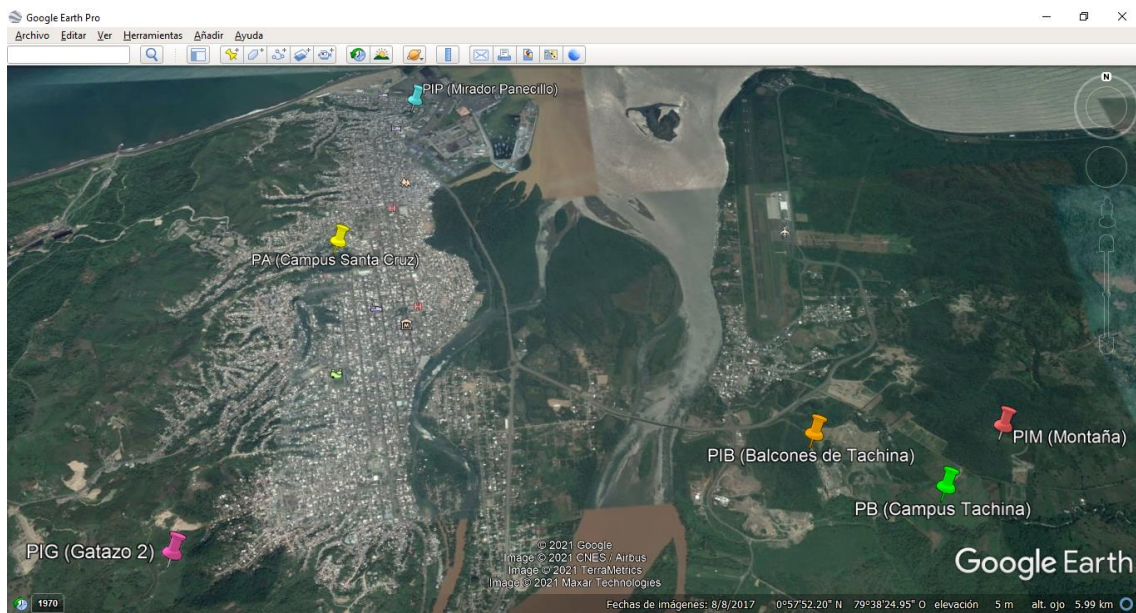


Figura 15. Puntos analizados para la simulación del radio enlace

En este apartado se presentan las coordenadas obtenidas y analizadas para cada sitio en el cual se recolectó esta información, además, se presenta cinco casos en los cuales se busca analizar la factibilidad de ambos puntos a conectar, sea por medio de un enlace punto a punto a través de una topología máster-esclavo o a través de dos enlaces con un repetidor que permita triangular la señal de radio desde el punto A hasta el punto B con la finalidad de encontrar el caso más idóneo con el cual trabajar. Además, se presentan soluciones que permiten conectar ambos puntos, pero a su vez se analizó el factor costo en base a terreno, sea propio o alquilado, altura donde se ubica las antenas, por ende, es

necesario colocar torres ventadas con una altura considerada y en varios casos se presentó una altura exagerada para obtener línea de vista entre ambos puntos.

Como primera localización se presenta al campus de Santa Cruz ubicado en una zona urbana en la parroquia de Esmeraldas, calle Espejo y subida a Santa Cruz, en el cual se obtuvo cinco coordenadas que se muestran en la Tabla 11 respecto a este sitio. Es importante mencionar que esta localización es ideal para transmitir las ondas de radio debido a que este campus se encuentra en la cima de la montaña de Santa Cruz aproximadamente a 88 m sobre el nivel del mar.

Tabla 11. Coordenadas obtenidas en el campus de Santa Cruz

PUCESE (Campus Santa Cruz)							
Ubicación de referencia	GARMIN GPSmap 62s			Conversión Arc Geek		Arc, Manual, RM	
	Sistema UTM			Grados sexagesimales		Decimales	
	X	Y	GPS	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Capilla 1	0649431	0107479	3 m	0° 58' 19.6536"	79° 39' 25.3190"	0,972126	-79,657033
Capilla 2	0649427	0107475	3 m	0° 58' 19.5240"	79° 39' 25.4484"	0,97209	-79,657069
Cuarto	0649398	0107462	3 m	0° 58' 19.0992"	79° 39' 26.3867"	0,971972	-79,657329
Salón de baile	0649391	0107452	4 m	0° 58' 18.7752"	79° 39' 26.6133"	0,971882	-79,657392
Terraza	0649363	0107445	3 m	0° 58' 18.5484"	79° 39' 27.5191"	0,971819	-79,657644

En el campus de Santa Cruz se obtuvo cinco coordenadas en base a distintos puntos de referencia como se puede apreciar en el Anexo 3, de los cuales los dos primeros puntos fueron frente a la capilla que se encuentra en la parte superior de la montaña, uno separado del otro aproximadamente a 7 m de distancia, el tercer punto se encuentra ubicado encima de una losa en una residencia que se encuentra entre la capilla y el edificio donde se reciben clases, un cuarto punto ubicado en el último piso del edificio más alto del campus donde se encuentra el salón de baile, y por último un quinto punto ubicado en el mismo edificio más alto del campus donde se encuentra una terraza y a su vez funciona como una pequeña estación meteorológica. Es importante mencionar que aunque todas las coordenadas tomadas en este primer campus tenían línea de vista hacia Tachina, los dos primeros puntos tomados de referencia se encontraban obstaculizados por los árboles que se existen en la parte delantera de la montaña de Santa Cruz, los dos siguientes puntos contaban con una vista clara hacia Tachina, pero debido al terreno, estos puntos no contaban con el espacio suficiente para colocar una torre ventada debido a que se debe cumplir un estándar de seguridad en la que indica que la torre debe estar sujeta al suelo por medio de anclajes con cables de acero para sostener la torre ventada, es por ello, que

el último punto donde se encuentra la pequeña estación meteorológica es el más acorde como punto A de conexión, debido a que cuenta con un campo despejado con línea de vista hacia Tachina, es terreno propio de la universidad y además se cuenta con el espacio suficiente para colocar una pequeña torre en la cual se ubique la antena transmisora, o un mástil donde se ubique esta primera antena.

Como segunda locación se presenta el campus de Tachina ubicado en una zona rural de la parroquia Tachina, en el sector KM. 2.0 vía Tachina – El Tigre, en el cual se obtuvo dos coordenadas que se muestran en la Tabla 12 respecto a este punto de recepción. Cabe mencionar que este sitio se encuentra a 34 m sobre el nivel del mar, escondido detrás de la montaña donde está ubicada la urbanización de Balcones de Tachina, obstaculizando la posible señal entre ambos campus.

Tabla 12. Coordenadas obtenidas en el campus de Tachina

PUCESE (Campus Tachina)							
Ubicación de referencia	GARMIN GPSmap 62s			Conversión Arc Geek		Arc, Manual, RM	
	Sistema UTM			Grados sexagesimales		Decimales	
	X	Y	GPS	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
<b>Edificio</b>	0653740	0105238	5 m	0° 57' 06.6276"	79° 37' 05.9621"	0,951841	-79,618322
<b>Patio</b>	0653758	0105263	3 m	0° 57' 07.4412"	79° 37' 05.3795"	0,952067	-79,618160

En el campus de Tachina se obtuvo dos coordenadas de diferentes puntos como se puede observar en el Anexo 4, de las cuales la primera coordenada fue tomada en el último piso del edificio que se encuentra en construcción, y la segunda coordenada se tomó de referencia en el patio del nuevo campus. Es de suma importancia aclarar que estas dos ubicaciones se encuentran obstaculizadas por la montaña de la urbanización de Balcones de Tachina, por ende, no existe línea de vista entre el emisor y este lugar de recepción. A través de una visita a las autoridades de la universidad, se determinó que el primer punto en el campus de Tachina no era viable debido a que el techado del nuevo campus es una cubierta metálica que cubre los dos edificios según los planos presentados. Es por ello, que el segundo punto cumple con los requisitos tanto de espacio suficiente de terreno en el cual colocar una torre ventada, como de ser terreno propio de la universidad.

En vista de que no existe línea de vista entre el campus de Santa Cruz y el campus de Tachina de la PUCESE, debido al gran montaña de Balcones de Tachina que se presenta como obstáculo entre ambos puntos a conectar, se recolectó coordenadas en nuevos

puntos elevados en los cuales se planteó utilizar un repetidor para mandar las ondas de radio y lograr simular la conexión del radio enlace.

Como tercera localización se presenta a la urbanización de Balcones de Tachina ubicada en una zona rural de la parroquia Tachina, en la prolongación del Puente sobre el Río Esmeraldas en la vía San Mateo-Tachina, en el cual se obtuvo cuatro coordenadas que se muestran en la Tabla 13 referente a esta urbanización. Es importante conocer que este punto es la montaña que obstaculiza entre ambos campus y se encuentra aproximadamente a 70 m sobre el nivel del mar.

Tabla 13. Coordenadas obtenidas en Balcones de Tachina.

Balcones de Tachina							
Ubicación de referencia	GARMIN GPSmap 62s			Conversión Arc Geek		Arc, Manual, RM	
	Sistema UTM			Grados sexagesimales		Decimales	
	X	Y	GPS	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Detrás de la montaña	0653429	0105343	3 m	0° 57' 10.0512"	79° 37' 16.0207"	0,952792	-79,621116
Detrás de la montaña 2	0653419	0105379	3 m	0° 57' 11.2248"	79° 37' 16.3437"	0,953118	-79,621206
Frente de la montaña	0652928	0105614	5 m	0° 57' 18.8820"	79° 37' 32.2232"	0,955245	-79,625617
Torre de Antenas	0652923	0105653	3 m	0° 57' 20.1528"	79° 37' 32.3845"	0,955598	-79,625662

En la zona residencial de Balcones de Tachina se obtuvo cuatro coordenadas como se puede apreciar en el Anexo 5, de las cuales las dos primeras coordenadas fueron tomadas en la parte trasera de la montaña de esta zona residencial, con vistas al nuevo campus de Tachina, pero al ser esta una zona privada, se presenta dificultades graves para colocar una torre debido a que no es terreno propio de la universidad y se necesitaría permisos por parte del dueño e incluso comprar o alquilar un terreno determinado para lograr colocar una torre con antenas que cumplan la función de repetidor en el radio enlace, además, se encuentran algunos terrenos donde ya se están realizando viviendas y otros los cuales no se tiene el perímetro suficiente para colocar una torre ventada con antenas. En cuanto al tercer punto, este hace referencia a la parte delantera de la montaña de la urbanización de Balcones de Tachina, con vista directa a Santa Cruz, pero no cuenta con el diámetro suficiente en caso de colocar una torre ventada de gran altura para ubicar unas antenas. Como último punto de referencia se obtuvo una coordenada en la esquina

delantera de la montaña de la urbanización de Balcones de Tachina donde ya se encuentra una torre ventada aproximadamente de 15 m de altura con varias antenas a su alrededor, por lo cual este punto fue el más idóneo con el cual trabajar en la simulación del radio enlace a pesar de que esta torre no respetaba los requerimientos necesarios, como por ejemplo no estaba sujeta a los enganches con el diámetro correspondiente al suelo, tampoco se contaba con línea de vista hasta el campus de Tachina, debido a que esta torre se encuentra en una esquina delantera de la montaña de Balcones de Tachina, y el campus de Tachina se encuentra escondido detrás de la montaña de esta urbanización, pero posteriormente se daría una solución colocando una torre ventada bastante elevada en el campus de Tachina que permita la vista entre el repetidor y el punto B.

Al analizar esta localización en la zona residencial de Balcones de Tachina, se decidió buscar otra localización que hiciera la función de repetidor igual que en la localización anterior. Para ello, se utilizó una montaña más alta que visualice ambos puntos a conectar.

Como cuarta localización se presenta a una montaña bastante alta a 127 m sobre el nivel de la mar ubicada en una zona rural en la parroquia Tachina, diagonal a la montaña de la urbanización de Balcones de Tachina y al frente del campus de Tachina de la PUCESE, en la cual se obtuvo dos coordenadas como se muestra en la Tabla 14 referente a esta montaña. Este sitio es clave debido a que cuenta con línea de vista entre la cima de esta montaña y el campus de Santa Cruz, y la cima con el campus de Tachina.

*Tabla 14. Coordenadas obtenidas en la montaña frente al campus de Tachina*

Montaña frente al campus de Tachina							
Ubicación de referencia	GARMIN GPSmap 62s			Conversión Arc Geek		Arc, Manual, RM	
	Sistema UTM			Grados sexagesimales		Decimales	
	X	Y	GPS	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
<b>Cultivos</b>	0654316	0105667	5 m	0° 57' 20.5884"	79° 36' 47.3245"	0,955719	-79,613145
<b>Cima</b>	0654220	0105682	3 m	0° 57' 21.0780"	79° 36' 50.4296"	0,955855	-79,614008

En la montaña ubicada frente al campus de Tachina se obtuvo dos coordenadas, las mismas que se pueden observar en el Anexo 6 referente a este sitio. Como primera coordenada se presenta en una zona de cultivos ubicada en la parte trasera de esta montaña, pero debido a que no es una zona tan elevada como la cima misma donde se obtuvo la segunda coordenada, no se logra visualizar completamente el campus de Santa Cruz. Posteriormente se obtuvo una segunda coordenada en la cima de esta montaña, justo

frente al campus de Tachina y con línea de vista tanto al campus de Santa Cruz y al campus de Tachina sin ningún obstáculo entre ellos. Cabe recalcar que en esta segunda ubicación no es terreno propio de la universidad y tampoco se cuenta con energía eléctrica ni seguridad que resguarde algún tipo de infraestructura en la cima de esta montaña, por ende, se debería implementar todo aquello para evitar robos de los equipos.

En vista de que en esta última localización analizada no se cuenta con factores importantes como la propiedad del terreno u otros factores fundamentales como lo es contar con energía eléctrica para los equipos, se decidió buscar otras localizaciones en las que pudiera hacer la función de repetidora a través de dos antenas para lo cual se presenta los cerros de Gatazo y el Panecillo, donde ya se cuenta con torres y, por ende, se tiene energía eléctrica y son zonas resguardadas para los equipos de radio y antenas.

Como quinta localización se presenta a las montañas de Gatazo ubicadas en la parroquia de Esmeraldas, en los cerros más altos donde se encuentran varias torres muy altas con antenas, en estas montañas se obtuvieron dos coordenadas que se muestran en la Tabla 15 referente a esta ubicación. Este sitio es importante debido a que en él se encuentran los cerros más altos de Esmeraldas cuya distancia es de entre 240 m a 250 m sobre el nivel del mar dependiendo del cerro.

*Tabla 15. Coordenadas obtenidas en los cerros de Gatazo*

Gatazo (Montañas donde se encuentran las torres de comunicaciones)							
Ubicación de referencia	GARMIN GPSmap 62s			Conversión Arc Geek		Arc, Manual, RM	
	Sistema UTM			Grados sexagesimales		Decimales	
	X	Y	GPS	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
<b>Gatazo 1</b>	0648736	0104837	3 m	0° 56' 53.6352"	79° 39' 47.8343"	0,948232	-79,663287
<b>Gatazo 2</b>	0648760	0104701	3 m	0° 56' 49.2072"	79° 39' 47.0596"	0,947002	-79,663072

En las montañas de Gatazo se obtuvo dos coordenadas referentes a los cerros de las montañas de Gatazo 1 y Gatazo 2 como se pueden observar en el Anexo 7. Como primera coordenada se presenta al cerro de Gatazo 1 ubicado a 242 m sobre el nivel del mar, donde se encuentran las torres de la radio la voz de su amigo, cuyas torres tienen una altura aproximada de 80 m de alto. Esta montaña de Gatazo 1 presenta inconvenientes para obtener visibilidad hacia el campus de Tachina, debido a que las montañas de Gatazo 2 y Gatazo 3 cubren cierta visibilidad hacia Tachina. Como segunda coordenada se presenta al cerro de Gatazo 2 ubicado a 250 m sobre el nivel del mar, en el cual se encuentran

torres de telefonía de movistar, claro, entre otras. Además, en este cerro se encuentra la torre más alta del canal de televisión Telecosta de Esmeraldas, cuya torre mide 100 m de alto convirtiéndose este cerro de Gatazo 2 en el punto más idóneo de esta localización para realizar la simulación de los enlaces de radio.

Como sexta y última localización se presenta al barrio del Panecillo ubicado en una zona urbana en la parroquia de Esmeraldas, calle 6 de Marzo subida al mirador del Panecillo, en el cual se obtuvo dos coordenadas que se muestran en la Tabla 16 correspondientes a este lugar. Este sitio se encuentra a 25 m sobre el nivel del mar con vistas directas al campus de Santa Cruz y al campus de Tachina.

Tabla 16. Coordenadas obtenidas en el barrio el Panecillo

Panecillo							
Ubicación de referencia	GARMIN GPSmap 62s			Conversión Arc Geek		Arc, Manual, RM	
	Sistema UTM			Grados sexagesimales		Decimales	
	X	Y	GPS	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Telecosta	0649713	0109110	3 m	0° 59' 12.7572"	79° 39' 16.1757"	0,986877	-79,654493
Mirador	0649803	0109179	3 m	0° 59' 15.0036"	79° 39' 13.2635"	0,987501	-79,653684

Por último, en el sector del Panecillo se obtuvo dos coordenadas, las mismas que se pueden observar en el Anexo 8. Como primera coordenada se presenta en la terraza del canal de televisión Telecosta, donde se encuentran varias antenas y en la parte inferior del edificio se encuentran dos torres de 15 m de la misma televisora en las cuales se tienen varias antenas y, por ende, existirá ruido entre la comunicación. Como segunda coordenada se presenta al mirador ubicado en el barrio del Panecillo, el cual pertenece a Autoridad Portuaria, en este punto se puede colocar perfectamente una pequeña torre o un mástil de 6 m en el cual colocar las antenas, debido a que este punto cuenta con visibilidad directa hasta el campus de Santa Cruz y de igual manera al campus de Tachina. Además, en este punto ya se han colocado antenas que en la actualidad ya no están por que los proyectos han culminado, también es importante mencionar que en este punto se cuenta con energía eléctrica y es una zona vigilada, por ende, es un punto clave para cumplir con la función de repetidor mediante dos enlaces de radio que permitan conectar ambos campus de la PUCESE.

Posteriormente se analizaron cinco casos para lograr comunicar ambos campus de la universidad como se planteó en esta investigación y lograr determinar el más factible.

### 3.1.1 Caso 1: Campus Santa Cruz – Campus Tachina

Como primer caso se presenta una conexión entre el campus de Santa Cruz ubicado en una zona urbana y el campus de Tachina ubicado en una zona rural como se muestra en la Figura 16. Para este primer caso se utilizó un solo enlace con una topología de red máster-esclavo donde el punto A es Santa Cruz y el punto B es el Campus de Tachina.

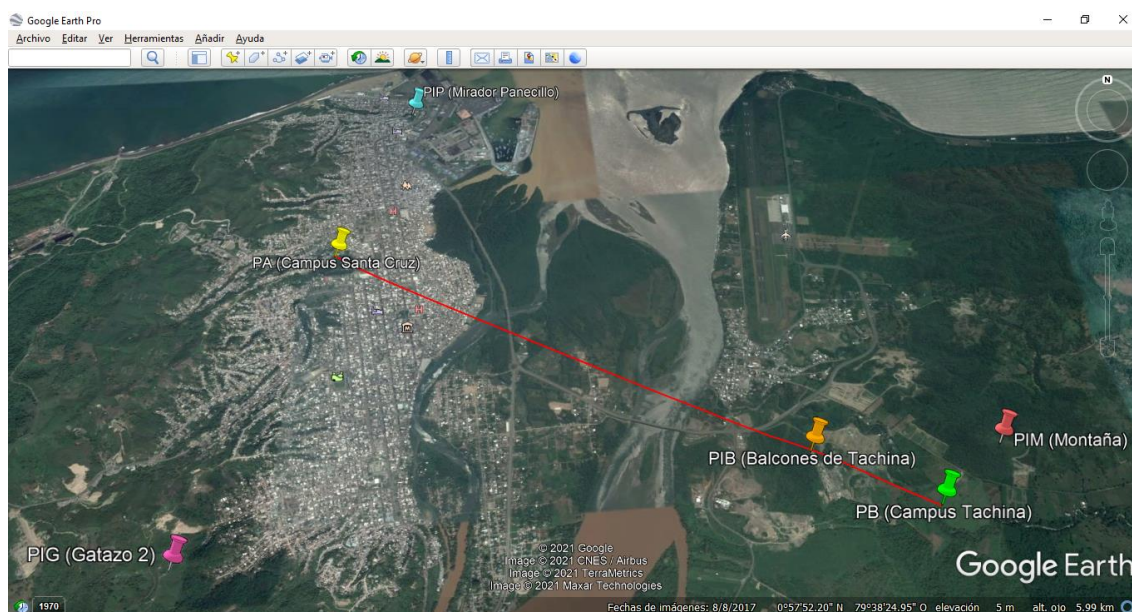


Figura 16. Conexión entre el Campus Santa Cruz y el campus Tachina sin repetidor

Para este primer caso se trabajó con las coordenadas seleccionadas previo al análisis de las distintas ubicaciones para ambos campus, las cuales se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Coordenadas seleccionadas para el primer caso

PUCESE (Campus Santa Cruz) – PUCESE (Campus Tachina)							
Ubicación de referencia	GARMIN GPSmap 62s			Conversión Arc Geek		Arc, Manual, RM	
	Sistema UTM			Grados sexagesimales		Decimales	
	X	Y	GPS	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Terraza	0649363	0107445	3 m	0° 58' 18.5484"	79° 39' 27.5191"	0,971819	-79,657644
Patio	0653758	0105263	3 m	0° 57' 07.4412"	79° 37' 05.3795"	0,952067	-79,618160

Como punto A (emisor) se presenta la ubicación de la terraza del edificio más alto del campus de Santa Cruz ubicada aproximadamente a 88 m sobre el nivel del mar con línea de vista despejada hacia Balcones de Tachina como se muestra en la Figura 17 (a). Como punto B (receptor) se presenta la coordenada obtenida en el patio del campus de Tachina ubicado aproximadamente a 34 m sobre el nivel del mar sin línea de vista al campus de

Tachina, obstaculizado por la montaña de la urbanización de Balcones de Tachina como se muestra en la Figura 17 (b).



Figura 17. Puntos que conectar para el caso 1

A pesar de haber determinado a simple vista que no existe línea de vista entre ambos puntos a conectar, se realizó una prueba en Radio Mobile con el mínimo y el máximo de frecuencia correspondiente a la banda de 5 GHz para determinar la viabilidad de este primer caso que se presenta en este estudio. Se obtuvo como resultado lo esperado, que no existiera línea de vista entre ambos campus como se observa en la Figura 18 (a), de tal forma que no es factible este caso debido a que al no existir línea de vista es imposible mandar ondas de radio a través de estos puntos comprobando a través del mapa de la herramienta en la que se realizó la simulación como se muestra en la Figura 18 (b), por ende este primer caso se analizó a fondo para encontrar una posible solución y que el margen relativo de recepción fuera positivo, dando a comprender la viabilidad del enlace propuesto en este primer caso.

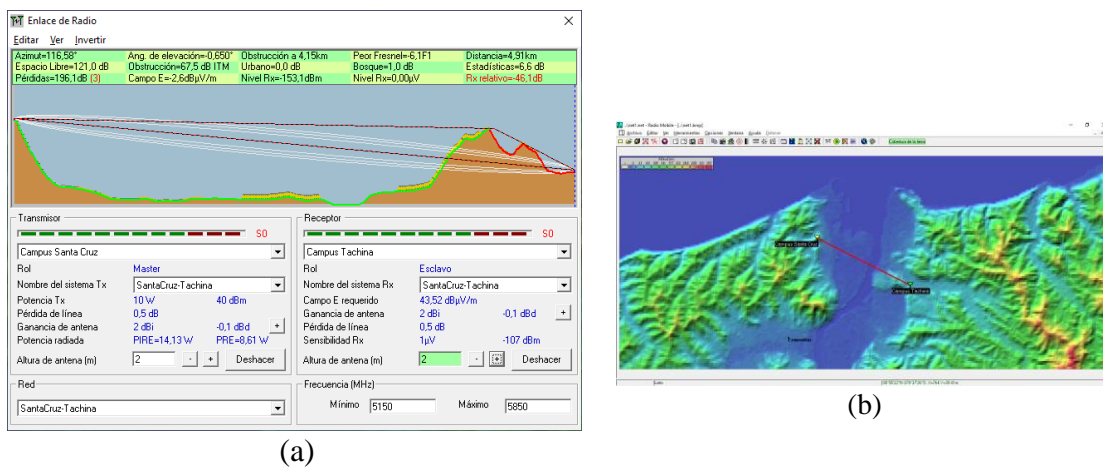


Figura 18. Visualización del enlace punto a punto entre el campus de Santa Cruz y Tachina

Para dar solución a este problema es necesario colocar las antenas a una determinada altura en la que se logren visualizar entre ellas y por ende, exista línea de vista, para lo cual la antena en el punto A se debe colocar a una altura de 6 m y en el punto B se debe colocar la antena en una torre ventada de 60 m como se observa en la Figura 19 (a), donde se demuestra que existe línea de vista y en la Figura 19 (b) se comprueba la viabilidad del enlace hasta cierto punto.

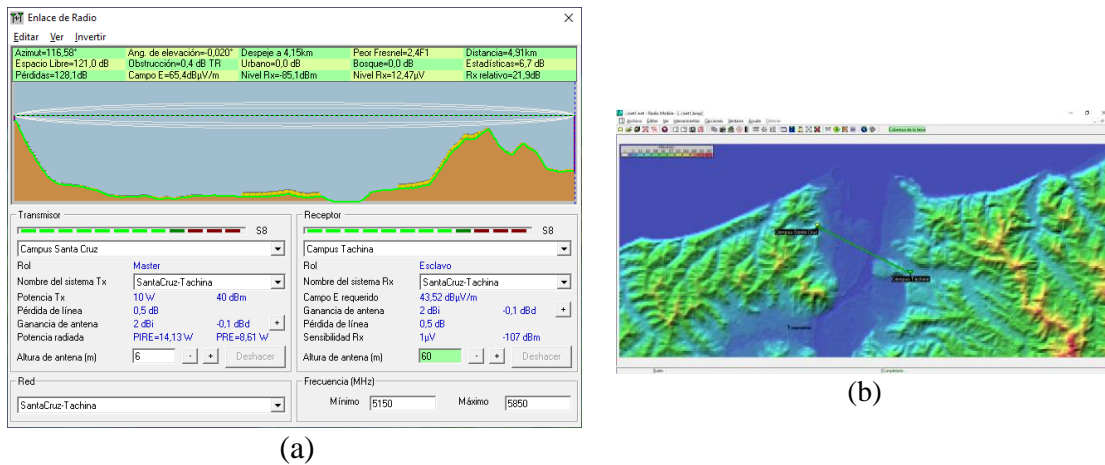
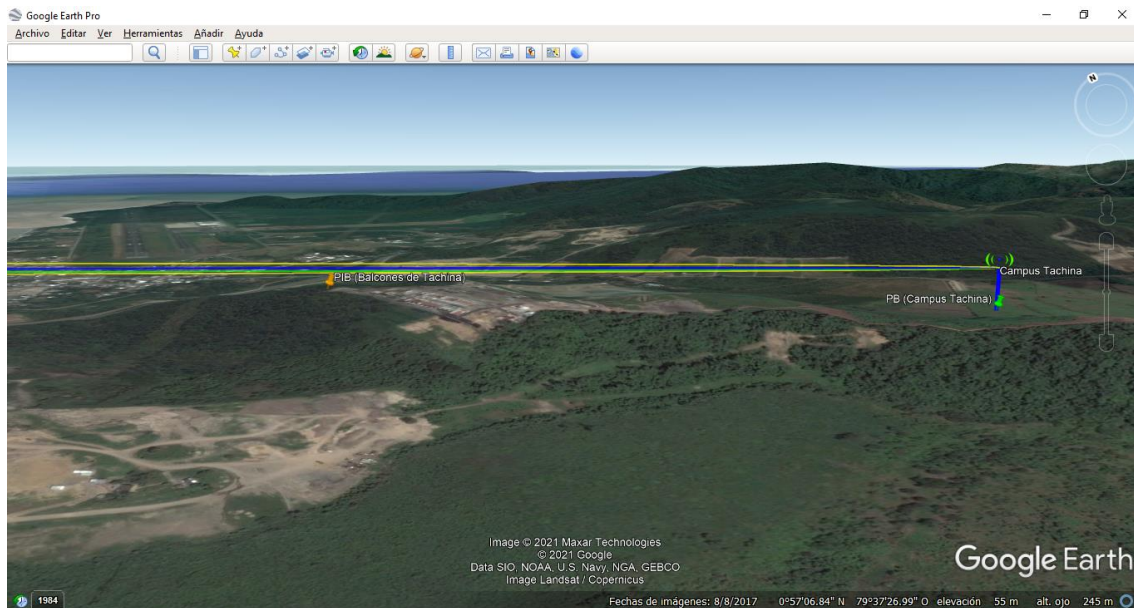


Figura 19. Verificación del enlace punto a punto para el primer caso

Un factor clave que se debe tener en cuenta es que la herramienta de simulación de Radio Mobile solo trabaja con el relieve de la Tierra y los terrenos, de tal forma que no toma en cuenta las casas o edificios existentes, y si bien se presenta una solución para este caso, como es darle más altura a la torre del punto B del campus de Tachina permitiendo que las ondas electromagnéticas viajen por encima de la montaña como se observa en la Figura 20, también se debe considerar que la urbanización de Balcones de Tachina se encuentra en una montaña bastante grande y extensa, en la cual la mayoría de terrenos se encuentran aún sin construirse, y si en un futuro se llega a construir alguna casa o un pequeño edificio, la señal del radio enlace se vería afectada en especial la primera zona de fresnel, obstruyendo el espacio libre por donde viajan las ondas electromagnéticas y por ende, el enlace se caería.



*Figura 20. Análisis por donde viajan las ondas electromagnéticas para el primer caso*

Si bien para este primer caso se presenta una posible solución, en cierto modo no es tan factible este caso debido a que se necesita una torre o mástil de 6 m en el campus de Santa Cruz, pero sobre todo, el problema radica en la torre del punto B en el campus de Tachina la cual debe ser de al menos 60 m o más tomando en cuenta que es posible que alguna construcción obstruya la señal de las ondas de radio enlace, por lo cual esta torre tendría un costo demasiado elevado e implica riesgos al tener una torre tan alta y aparte se necesita un espacio de terreno de 42 m de radio respecto de dónde va la torre con cada anclaje y cables de acero para que la torre no se oscile y no se degrade la señal. El enlace completo para este primer caso se lo puede observar en el Anexo 9.

### **3.1.2 Caso 2: Campus Santa Cruz – Balcones de Tachina – Campus Tachina**

Como segundo caso se presenta una conexión entre el campus de Santa Cruz ubicado en una zona urbana y el Campus de Tachina ubicado en una zona rural. Para este segundo caso se utilizaron dos enlaces de radio con una topología máster-esclavo para ambos enlaces, por ende, se necesita de la ayuda de un repetidor ubicado en la zona residencial de Balcones de Tachina también ubicado en una zona rural a menos de 1 Km de distancia del campus de Tachina de la PUCESE que permita obtener y enviar la señal del radio enlace como se muestra en la Figura 21.

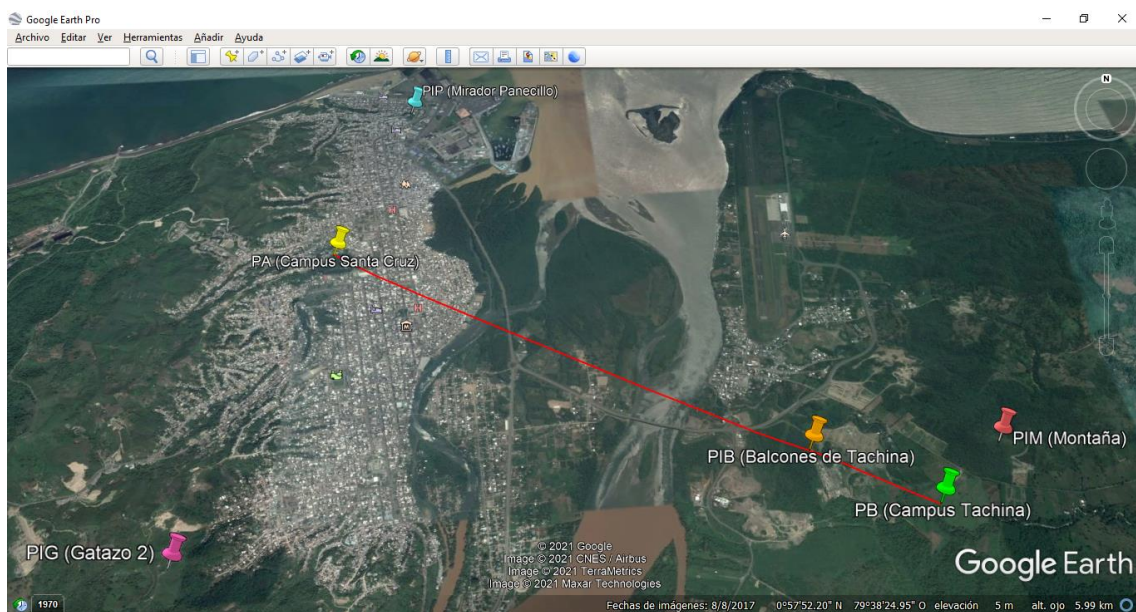


Figura 21. Conexión entre el campus de Santa Cruz y Tachina con repetidor en Balcones

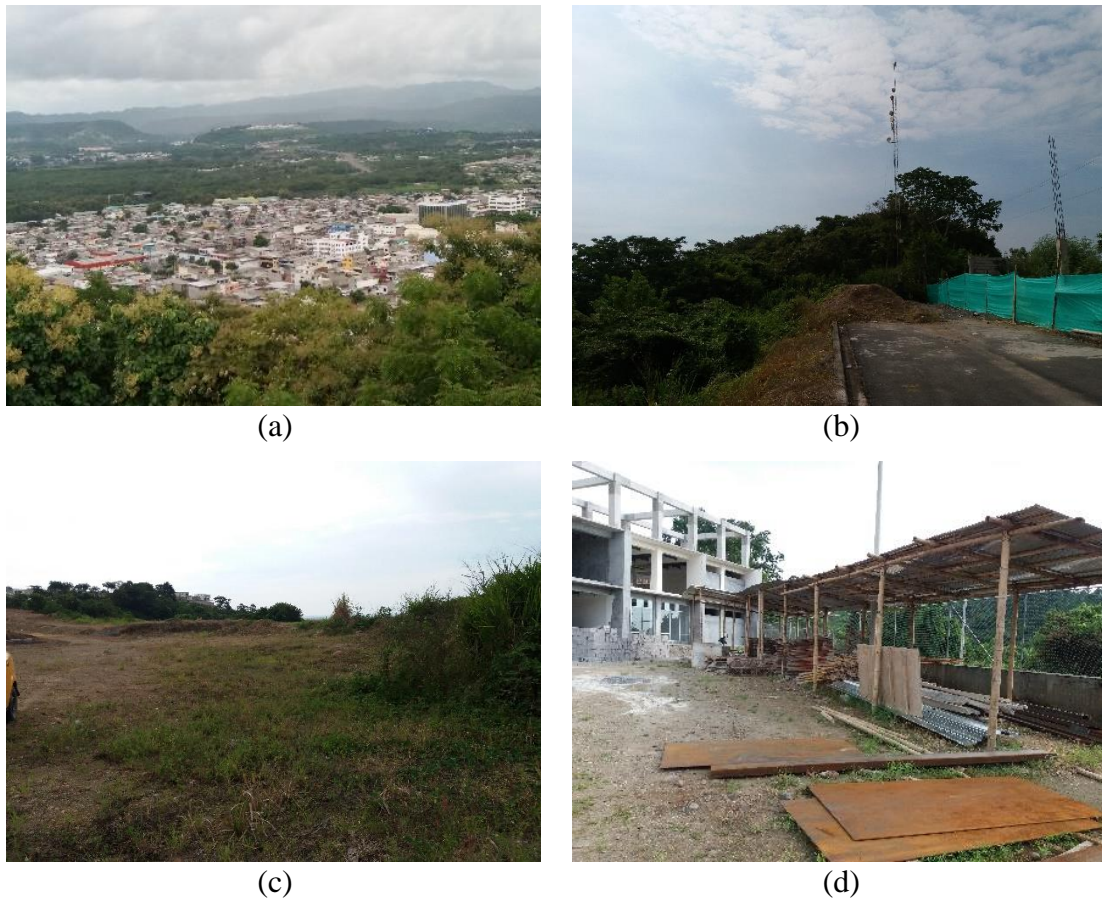
Para este segundo caso se trabajó con las coordenadas previamente seleccionadas referente a cada una de las localizaciones, tomando en cuenta el repetidor que se ubicaría en Balcones de Tachina las mismas que son presentadas en la Tabla 18.

Tabla 18. Coordenadas seleccionadas para el segundo caso

PUCESE (Campus Santa Cruz) – Balcones de Tachina – PUCESE (Campus Tachina)							
Ubicación de referencia	GARMIN GPSmap 62s			Conversión Arc Geek		Arc, Manual, RM	
	Sistema UTM			Grados sexagesimales		Decimales	
	X	Y	GPS	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Terraza	0649363	0107445	3 m	0° 58' 18.5484"	79° 39' 27.5191"	0,971819	-79,657644
Torre Antena	0652923	0105653	3 m	0° 57' 20.1528"	79° 37' 32.3845"	0,955598	-79,625662
Patio	0653758	0105263	3 m	0° 57' 07.4412"	79° 37' 05.3795"	0,952067	-79,618160

Como primer punto (emisor) para este segundo caso, se presenta al igual que en el caso anterior la terraza del edificio del campus de Santa Cruz como se muestra en la Figura 22 (a). Como punto intermedio entre el punto A y punto B que se busca conectar, se presenta la torre existente ubicada en la esquina delantera de esta montaña que se encuentra en la urbanización de Balcones de Tachina, que funcionaría como repetidor y en la que existe línea de vista completa hacia el campus de Santa Cruz como se muestra en la Figura 22 (b). Debido a que la montaña de esta urbanización cuenta con una longitud bastante considerable, desde esta torre la cual se utilizaría como repetidor, no se cuenta con línea de vista hacia el campus de Tachina por el hecho de estar ubicada en la esquina delantera a diferencia del campus que se encuentra escondido en la parte trasera de la montaña

como se muestra en la Figura 22 (c). Como punto B (receptor) se presenta el mismo del caso anterior, el patio del campus de Tachina como se observa en la Figura 22 (d) el mismo que no se logra visualizar con la torre que ya se encuentra en la urbanización.



*Figura 22. Puntos que conectar para el caso 2*

A simple vista se determinó línea de vista entre el campus de Santa Cruz y la torre ubicada en Balcones de Tachina, sin ningún tipo de obstrucción, pero al analizar la parte del repetidor hasta el campus de Tachina se determinó que era posible que existiera problemas para que se comuniquen estos puntos, debido a la irregularidad del terreno y lo escondido que se encuentra el campus de Tachina detrás de la montaña de esta urbanización. Para comprobar esta hipótesis se realizó las respectivas simulaciones a través del software de Radio Mobile para comprobar la viabilidad del radio enlace a través de un repetidor. Como primeros resultados se obtuvo que entre el campus de Santa Cruz y Balcones de Tachina es viable realizar el enlace como se muestra en la Figura 23 (c), a diferencia del enlace entre este punto repetidor y el campus de Tachina como se muestra en la Figura 23 (b), por lo cual no llegaría la señal hasta aumentar la altura de la antena en el punto B que se analizó posteriormente. A través de esta primera simulación para

este caso se determinó como se muestra en la Figura 23 (c) que el enlace no llega a su punto destino desde su punto origen.

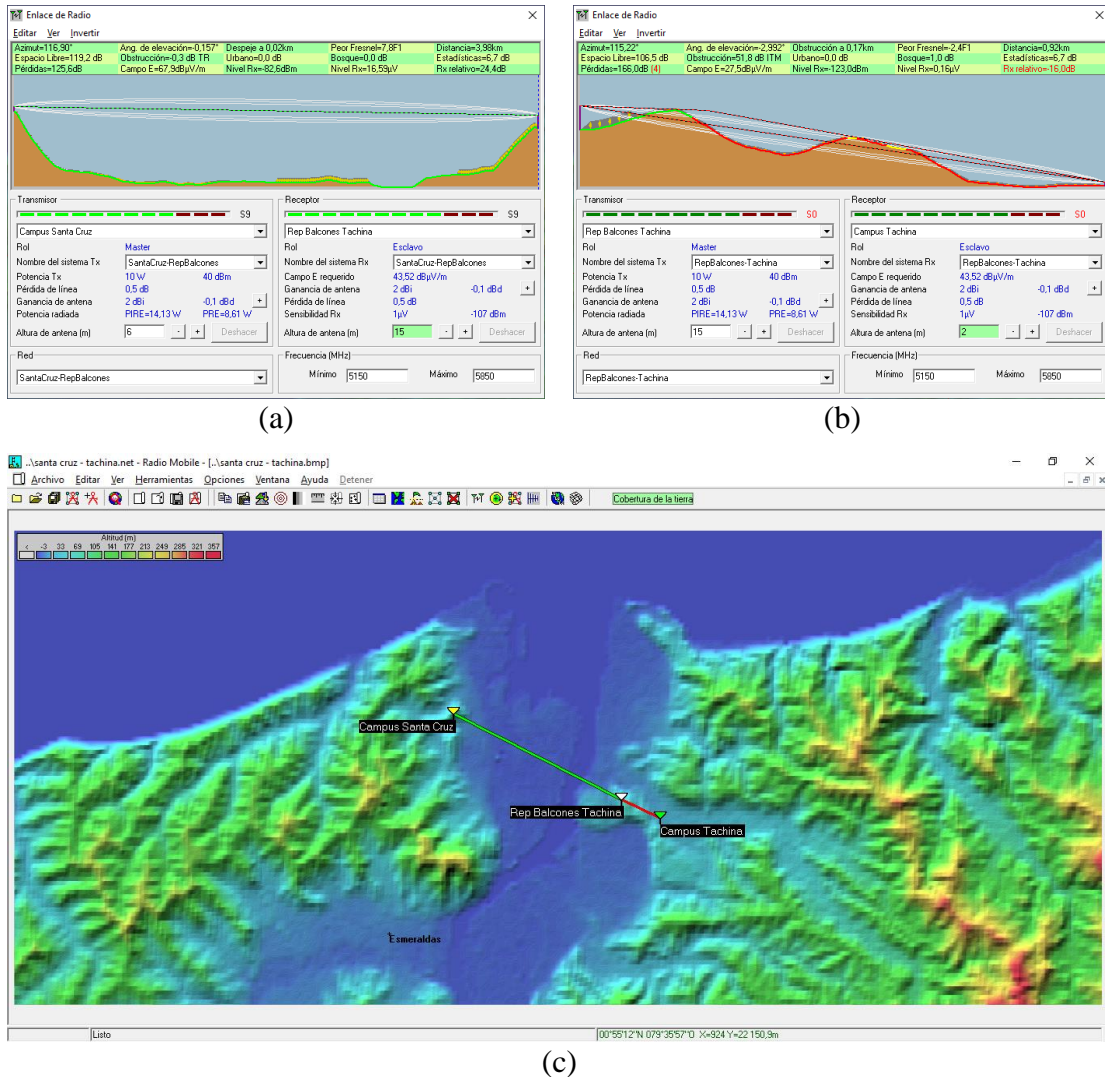
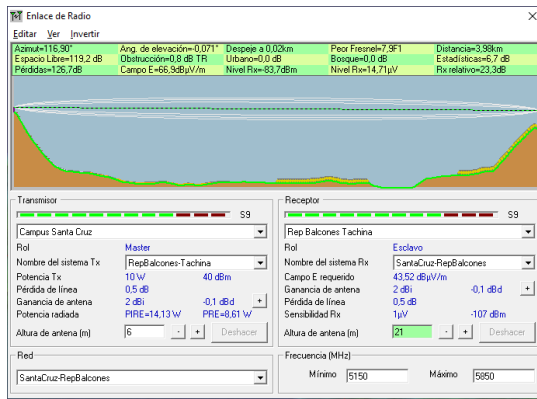
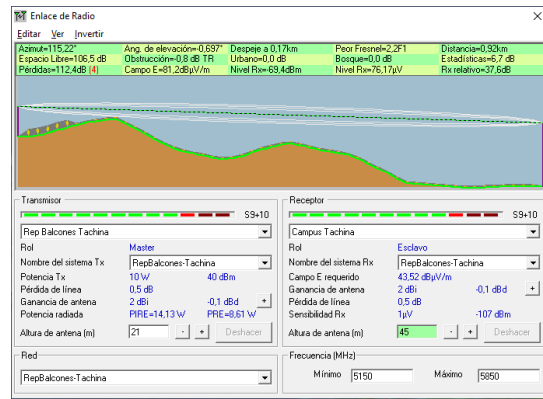


Figura 23. Visualización de los enlaces a través de un repetidor en Balcones de Tachina

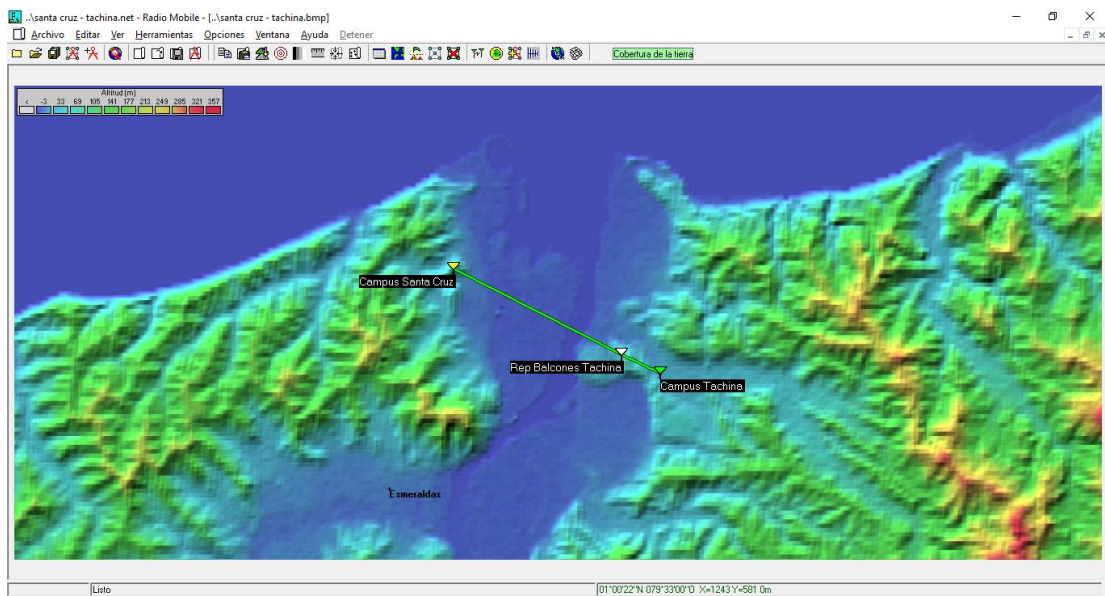
Para lograr solucionar este inconveniente y permitir que se logren visualizar la antena emisora del receptor ubicado en Balcones de Tachina y la del campus de Tachina, es necesario que en la torre que ya existe en Balcones de Tachina se aumente 2 tramos de torre ventada de 3 m cada una para lograr obtener una torre de 21 m aproximadamente y en esa altura colocar las antenas repetidoras como se muestra en la Figura 24 (a) de tal forma que la antena transmisora del repetidor se encuentre también a esta misma altura y en el punto de recepción del campus de Tachina colocar la antena a una altura de 45 m sobre el suelo y que de esta manera se logren comunicar como se muestra en la Figura 24 (b) comprobando la posible viabilidad del enlace desde el punto emisor hasta el receptor pasando por un repetidor como se observa en la Figura 24 (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 24. Verificación de los enlaces para el segundo caso a través de un repetidor

Al igual que en el primer caso se debe tomar en cuenta que la herramienta con la que se realiza estos análisis trabaja con el relieve de la Tierra, es por ello, que es de suma importancia tomar en cuenta que en esta urbanización aún no se encuentra con viviendas o en construcción la parte trasera de esta montaña y de momento se logra conectar en esta simulación al repetidor de Balcones de Tachina con el campus de Tachina como se muestra en la Figura 25, pero si en algún momento construyen alguna edificación con cierta altura que afecta a la primera zona de fresnel u obstruya completamente el espacio por donde viajan las ondas, el enlace se verá afectado gravemente, hasta tal punto que puede caerse completamente, para lo cual es necesario dar más altura a los puntos donde se ubicarían las antenas del emisor del repetidor y el campus de Tachina.

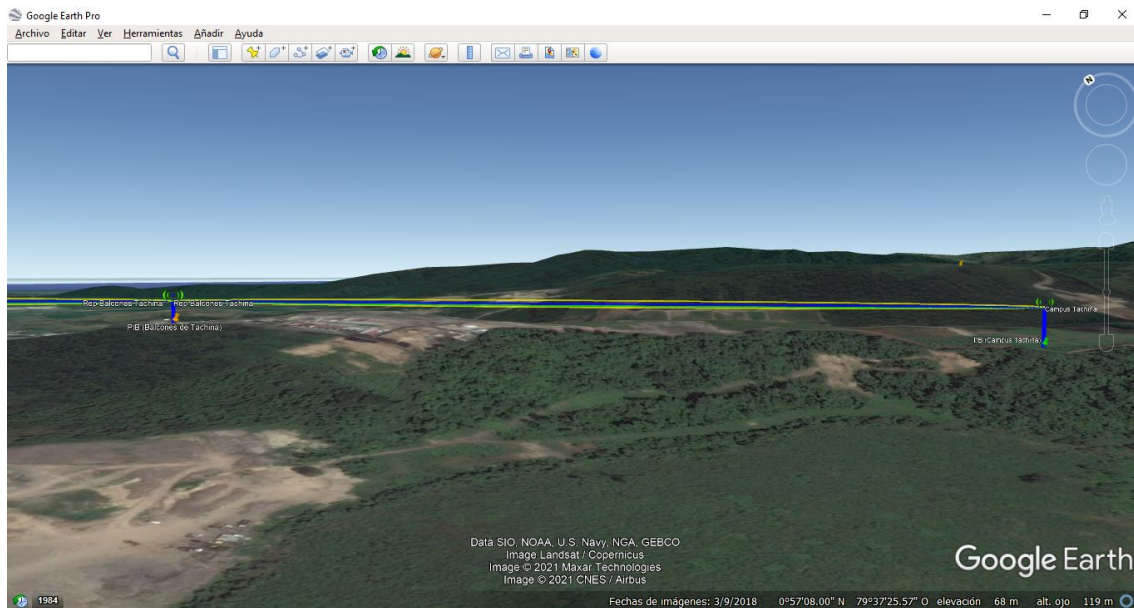


Figura 25. Análisis por donde viajan las ondas electromagnéticas para el segundo caso

Al igual que en el primer caso se presenta una posible solución para lograr conectar el punto A con el punto B a través de un repetidor en un punto intermedio como es Balcones de Tachina, pero este caso no es factible, debido a que si bien los dos puntos a conectar cuentan con terreno propio de la universidad y el punto de recepción cuenta con el terreno suficiente en el cual colocar una torre de 45 m, el punto intermedio en el cual se desea colocar las antenas que cumplen la función de repetidor es una zona residencial privada, y al ser privada se necesitan permisos y autorizaciones, tanto del dueño de la urbanización, como del dueño de la torre que se encuentra ubicada en esta localización. Además, los costos serían muy elevados debido a que se necesitaría primero la autorización para montar 2 tramos en la torre sin tomar en cuenta aún los equipos que se utilizarían en este radio enlace y en el punto B se necesitaría una torre de 45 m y sobre todo considerar que en un futuro puede que se construyan casas que afecten en la señal del radio enlace, por ende, se debería dar más altura o buscar otro punto donde colocar otro repetidor. Ambos enlaces para este segundo caso se pueden observar en el Anexo 10.

### 3.1.3 Caso 3: Campus Santa Cruz – Montaña – Campus Tachina

Como tercer caso se presenta una conexión entre el campus de Santa Cruz ubicado en una zona urbana y el campus de Tachina en una zona rural. Para este tercer caso se utilizaron dos enlaces punto a punto con una topología máster-esclavo, con un repetidor ubicado en una montaña de 127 m de altura, también ubicada en una zona rural a 1,30 Km en diagonal

a la montaña de Balcones de Tachina desde el punto donde se encuentra la torre de antenas y justo al frente del campus de Tachina a 650 m aproximadamente de este campus de recepción como se muestra en la Figura 26.

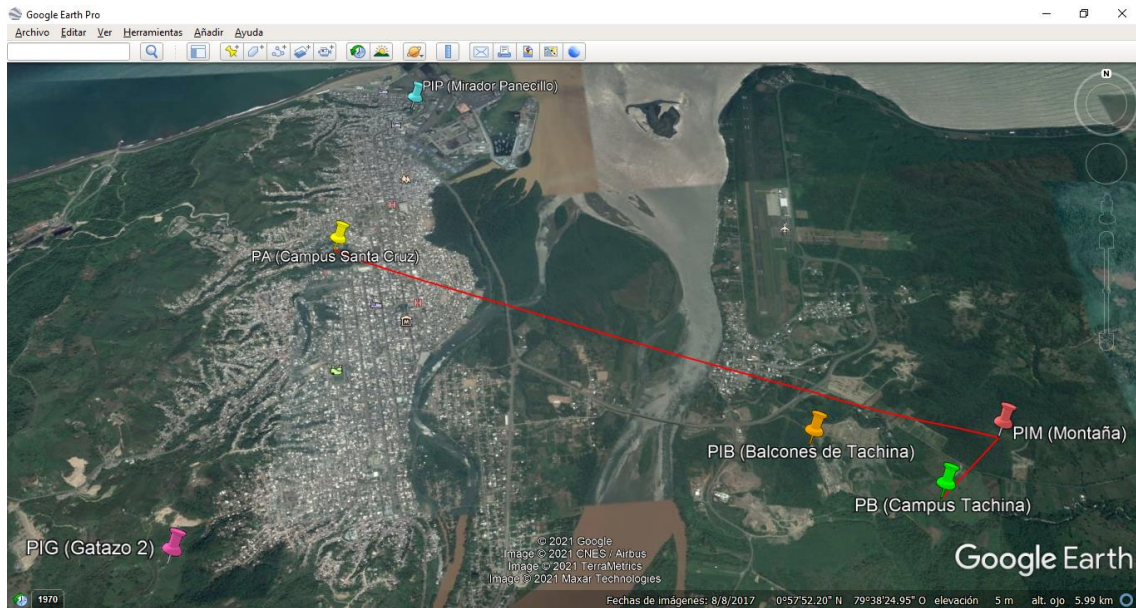


Figura 26. Conexión entre el campus de Santa Cruz y Tachina con repetidor en la montaña

Para este tercer caso se trabajó con las coordenadas analizadas y seleccionadas anteriormente referentes al punto A, punto B, y el nuevo repetidor las cuales se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Coordenadas seleccionadas para el tercer caso

PUCESE (Campus Santa Cruz) – Montaña frente al campus de Tachina – PUCESE (Campus Tachina)							
Ubicación de referencia	GARMIN GPSmap 62s			Conversión Arc Geek		Arc, Manual, RM	
	Sistema UTM			Grados sexagesimales		Decimales	
	X	Y	GPS	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Terraza	0649363	0107445	3 m	0° 58' 18.5484"	79° 39' 27.5191"	0,971819	-79,657644
Cima	0654220	0105682	3 m	0° 57' 21.0780"	79° 36' 50.4296"	0,955855	-79,614008
Patio	0653758	0105263	3 m	0° 57' 07.4412"	79° 37' 05.3795"	0,952067	-79,618160

Como primer punto (emisor) se presenta al mismo punto ubicado en Santa Cruz, la terraza donde funciona la estación meteorológica de este campus como se muestra en la Figura 27 (a). Como punto intermedio el cual va a servir de repetidor entre los puntos a conectar se presenta la cima de la montaña que se encuentra en diagonal a Balcones de Tachina y en frente del nuevo campus de Tachina, el cual tiene línea de vista tanto para el campus de Santa Cruz como se observa en la Figura 27 (b) y también como para el campus de Tachina como se observa en la Figura 27 (c). Cabe mencionar que la cima de esta montaña

es la más idónea para cumplir la función de repetidor debido a que se encuentra a 127 m aproximadamente y no tiene ningún obstáculo entre los puntos a conectar. Como punto de recepción se presenta al igual que en los casos anteriores, el campus de Tachina con vista clara a la cima de la montaña en línea recta como se observa en la Figura 27 (d).



(a)



(b)



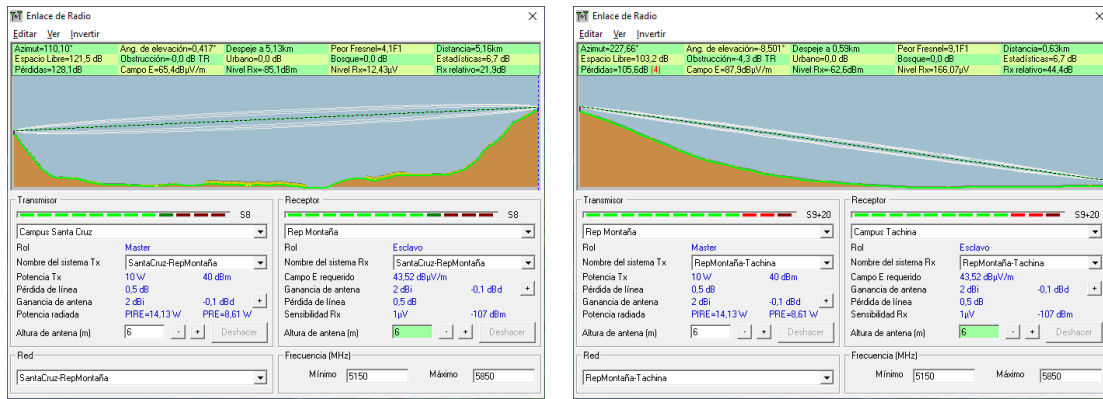
(c)



(d)

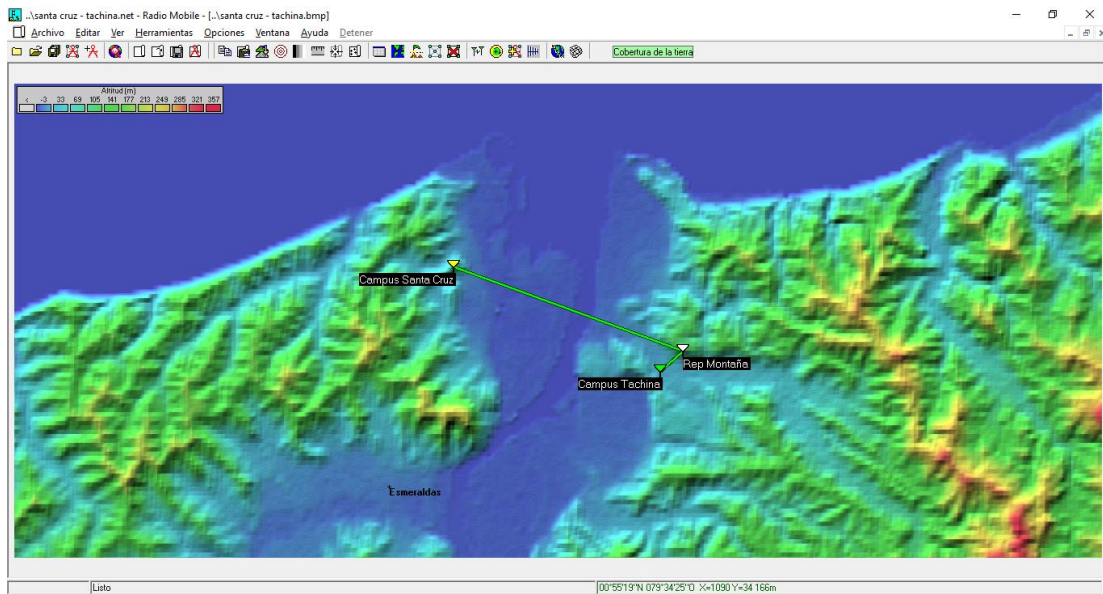
*Figura 27. Puntos que conectar para el caso 3*

A pesar de que al haberse situado en la cima de la montaña se notó visualizar ambos puntos a conectar, se realizó las respectivas pruebas a través del software con el cual se comprobó y determinó la visibilidad entre el campus de Santa Cruz y la cima de la montaña donde se ubicaría el repetidor como se muestra en la Figura 28 (a). De igual manera se realizó la comprobación para la segunda parte del enlace en la que se determinó que no existía ningún inconveniente entre la cima donde se ubica el repetidor y el campus de Tachina como se presenta en la Figura 28 (b). Al llegar a estos resultados, se determinó que este caso es viable en cuanto a la conexión debido a la visibilidad entre ambos puntos a través de un repetidor, lo cual se presenta en la Figura 28 (c).



(a)

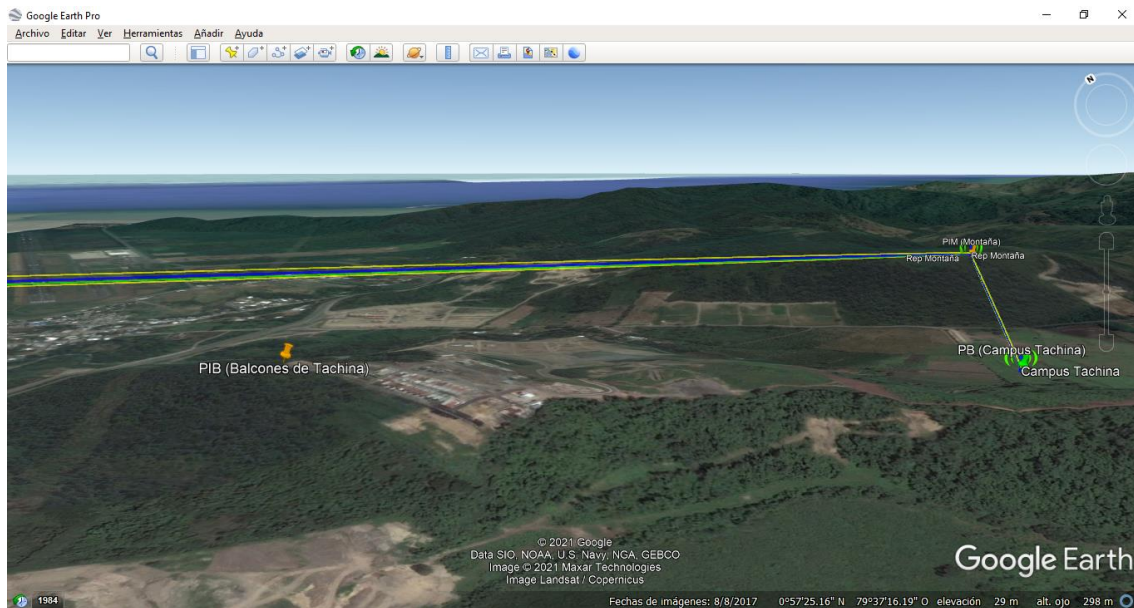
(b)



(c)

Figura 28. Visualización de los enlaces a través de un repetidor en la cima de la montaña

Si bien es cierto que con este caso se logra conectar ambos puntos a través de un repetidor, se debe tomar en cuenta que en esta montaña se encuentran árboles de poca altura, para lo cual colocando una torre que sobrepase los árboles garantizaría la fiabilidad del enlace de tal forma que no se vea afectadas las zonas de fresnel, en especial la primera. Este repetidor se ubica en una zona muy alta, específicamente en la cima de esta montaña, es por ello, que cuenta con línea de vista hacia los campus que se simularon como se observa en la Figura 29 y otro aspecto importante que se tomó en cuenta es que no existen obstáculos entre estos campus sujetos a estudio.



*Figura 29. Análisis por donde viajan las ondas electromagnéticas para el tercer caso*

Este tercer caso analizado es uno de los más viables debido a la visibilidad hacia los campus de la universidad, desde la cima de esta montaña, que se encuentra a 5,17 Km del campus de Santa Cruz y a 630 m del campus de Tachina. Es importante mencionar que en la cima de esta montaña no se tiene energía eléctrica, pero para ello, se debería mandar un cable de luz eléctrica hasta este punto debido a que en la carretera principal se cuenta con postes que llevan energía eléctrica hasta el campus de Tachina como a diferentes lugares de esta zona rural. Además, para este tercer caso se necesitaría una torre de 9 m y colocar una construcción alrededor de la torre en la montaña para evitar robo de los equipos. Ambos enlaces para este tercer caso se pueden apreciar en el Anexo 11.

### **3.1.4 Caso 4: Campus Santa Cruz – Gatazo – Campus Tachina**

Como cuarto caso se presenta una conexión de dos enlaces de radio, el primer enlace entre el campus de Santa Cruz con el cerro de Gatazo ubicados en una zona urbana de la parroquia Esmeraldas, y el segundo enlace entre Gatazo y el campus de Tachina de la PUCESE ubicado en una zona rural como se muestra en la Figura 30. Ambos enlaces son punto a punto con una topología máster-esclavo, en el que el cerro de Gatazo cumple con la función de repetidor a 250 m aproximadamente sobre el nivel del mar para la conexión de ambos campus de la universidad.

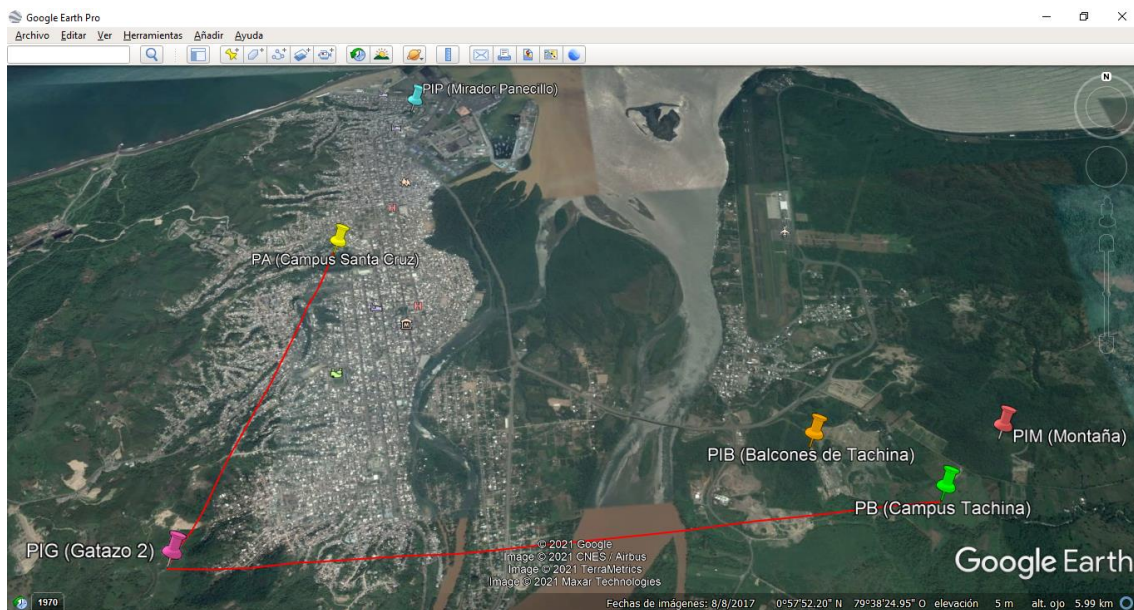


Figura 30. Conexión entre el campus de Santa Cruz y Tachina con repetidor en Gatazo

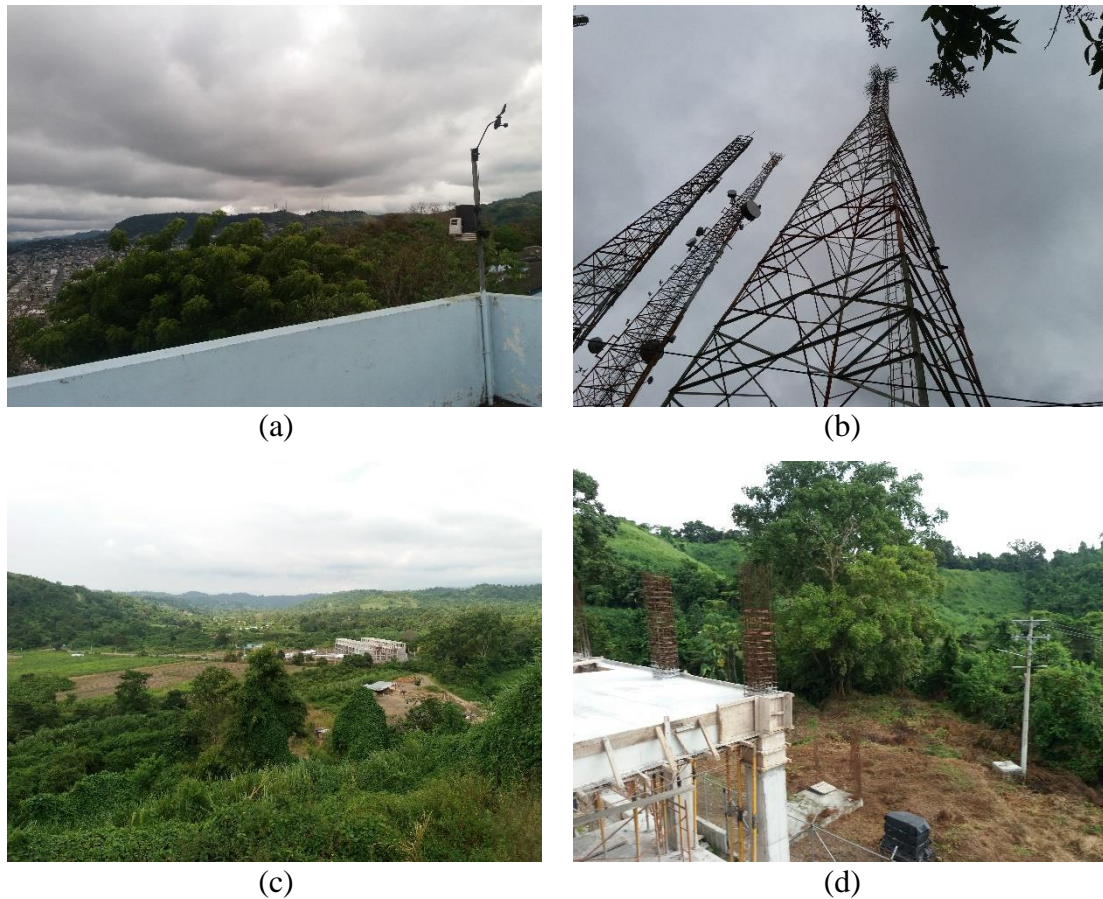
Para este cuarto caso se utilizó las respectivas coordenadas seleccionadas para el punto de emisión, recepción y el punto de repetidor en la localización de Gatazo, las cuales se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Coordenadas seleccionadas para el cuarto caso

PUCESE (Campus Santa Cruz) – Gatazo – PUCESE (Campus Tachina)							
Ubicación de referencia	GARMIN GPSmap 62s			Conversión Arc Geek		Arc, Manual, RM	
	Sistema UTM			Grados sexagesimales		Decimales	
	X	Y	GPS	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Terraza	0649363	0107445	3 m	0° 58' 18.5484"	79° 39' 27.5191"	0,971819	-79,657644
Gatazo 2	0648760	0104701	3 m	0° 56' 49.2072"	79° 39' 47.0596"	0,947002	-79,663072
Patio	0653758	0105263	3 m	0° 57' 07.4412"	79° 37' 05.3795"	0,952067	-79,618160

Como primer punto (emisor) para este cuarto caso, se presenta al igual que en los casos anteriores, la terraza del edificio del campus de Santa Cruz con vistas hacia Gatazo como se muestra en la Figura 31 (a). Como punto intermedio entre ambos campus de la universidad se presenta la torre existente del canal de televisión Telecosta de Esmeraldas que se encuentra en el cerro de Gatazo 2 como se muestra en la Figura 31 (b), el cual funcionaría como repetidor entre los puntos a conectar y que tiene línea de vista hacia el campus de Santa Cruz y a hacia Tachina debido a que esta torre cuenta con 100 m de alto y se encuentra en uno de los cerros más altos de Esmeraldas. Debido a que el campus de Tachina se encuentra en una zona rural, este campus está escondido detrás de montañas de Balcones de Tachina como se observa en la Figura 31 (c), por ende, parte de la montaña

que se encuentra detrás de Balcones de Tachina afectaría posiblemente en la recepción de las ondas de radio. Como punto de recepción se presenta el patio del campus de Tachina como se observa en la Figura 31 (d) con el inconveniente de la visibilidad hacia Gatazo por las montañas que rodean este campus.



*Figura 31. Puntos que conectar para el caso 4*

Posteriormente se determinó a través del software de Radio Mobile que si existe línea de vista entre el primer enlace como se muestra en la Figura 32 (a), debido a que tanto el campus de Santa Cruz se encuentra en una zona elevada, al igual que el cerro de Gatazo. En cuanto al segundo enlace que se presenta en la Figura 32 (b), este también cuenta con línea de vista hacia el campus de Tachina de la PUCESE, siempre y cuando se coloque una antena de 18 m, debido a que en este lugar de recepción, se presentan zonas montañosas detrás de Balcones de Tachina, por ende, la antena en el campus de Tachina debe colocarse a una altura determinada para poder recibir las ondas desde Gatazo, de esta forma se comprueba la factibilidad de este caso a través de dos enlaces como se muestra en la Figura 32 (c).

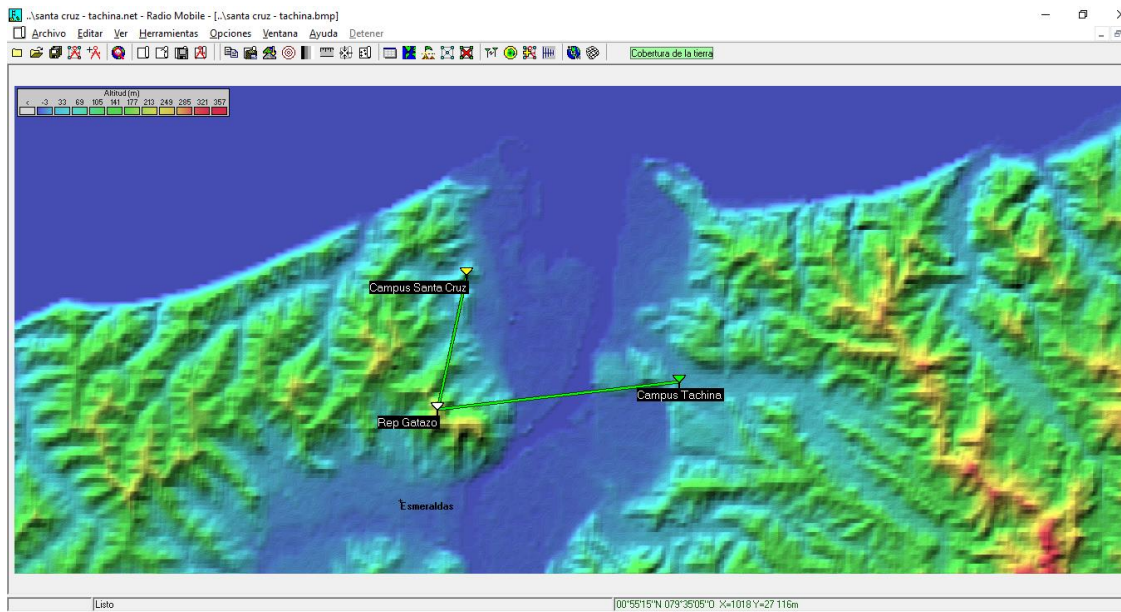
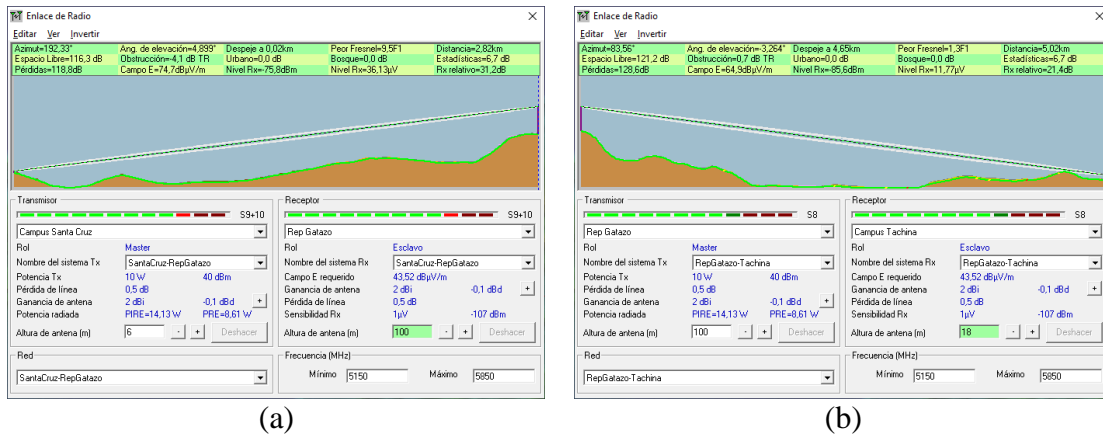


Figura 32. Visualización de los enlaces a través de un repetidor en Gatazo

En este cuarto caso se determinó que para el primer enlace cuya distancia es de 2.81 Km no hay ningún problema mayor debido a los puntos que se presentan como es Santa Cruz y Gatazo, no tienen ningún obstáculo de por medio, pero en el segundo enlace desde Gatazo hacia el campus de Tachina con una distancia de 5.03 Km, se presenta una zona montañosa detrás de la urbanización de Balcones de Tachina como se muestra en la Figura 33, por ende se debió simular con una altura considerable en este campus que permitiera sobre pasar estas zonas montañosas para evitar que las ondas de radio se pierdan en el trayecto desde el punto repetidor hasta el punto de recepción del campus de Tachina y que de esta manera las zonas de fresnel para el segundo enlace no se vieran afectadas y se logre la comunicación entre estos puntos presentados en este cuarto caso.



*Figura 33. Análisis por donde viajan las ondas electromagnéticas para el cuarto caso*

A través de este cuarto caso se comprobó la factibilidad de los dos enlaces de radio para lograr comunicar ambos campus de la universidad, uno ubicado en una zona urbana con otro ubicado en una zona rural. Para ello, en este caso se debería alquilar al propietario de la torre de Telecosta en el cerro de Gatazo 2 para colocar las dos antenas junto con los equipos de radio debido a que en este punto se encuentra la torre más alta con 100 m de altura resguardada de un cerramiento con cámaras de vigilancia. Cabe mencionar a que diferencia del caso anterior, en este cerro se encuentran muchas más torres de telefonía móvil como es claro y movistar, por ende, se cuenta con energía eléctrica y en este punto no se necesitaría colocar ninguna torre ni mástil, solo alquilar una pequeña parte de la torre de Telecosta que permita cumplir junto a dos antenas la función de repetidor para comunicar ambos campus de la universidad. Ambos enlaces para este cuarto caso se pueden apreciar en el Anexo 12.

### **3.1.5 Caso 5: Campus Santa Cruz – Panecillo – Campus Tachina**

Como quinto caso se presenta una conexión de dos enlaces de radio, el primer enlace va desde el campus de Santa Cruz hasta el mirador del barrio el Panecillo ubicados en zonas urbanas de la parroquia Esmeraldas, y el segundo enlace va desde el mirador del Panecillo hasta el campus de Tachina de la PUCESE ubicado en una zona rural como se muestra en la Figura 34. Los dos enlaces son punto a punto con una topología máster-esclavo, en el que el punto intermedio del mirador ubicado en el Panecillo cumple con la función de

repetidor a 25 m aproximadamente sobre el nivel del mar para la conexión de ambos campus de la universidad.

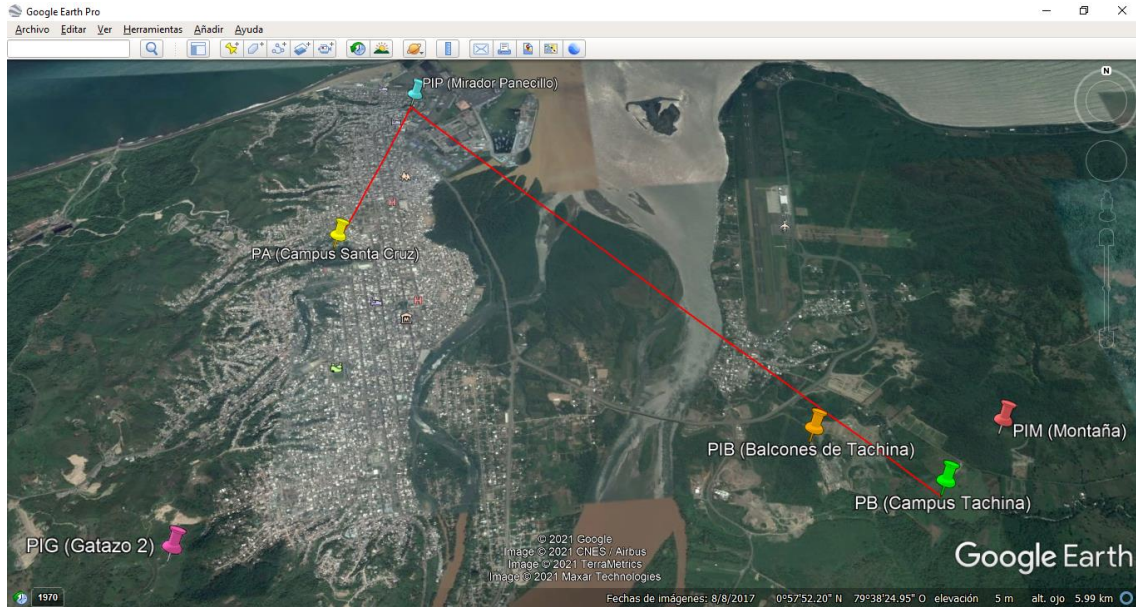


Figura 34. Conexión entre el campus de Santa Cruz y Tachina con repetidor en el Panecillo

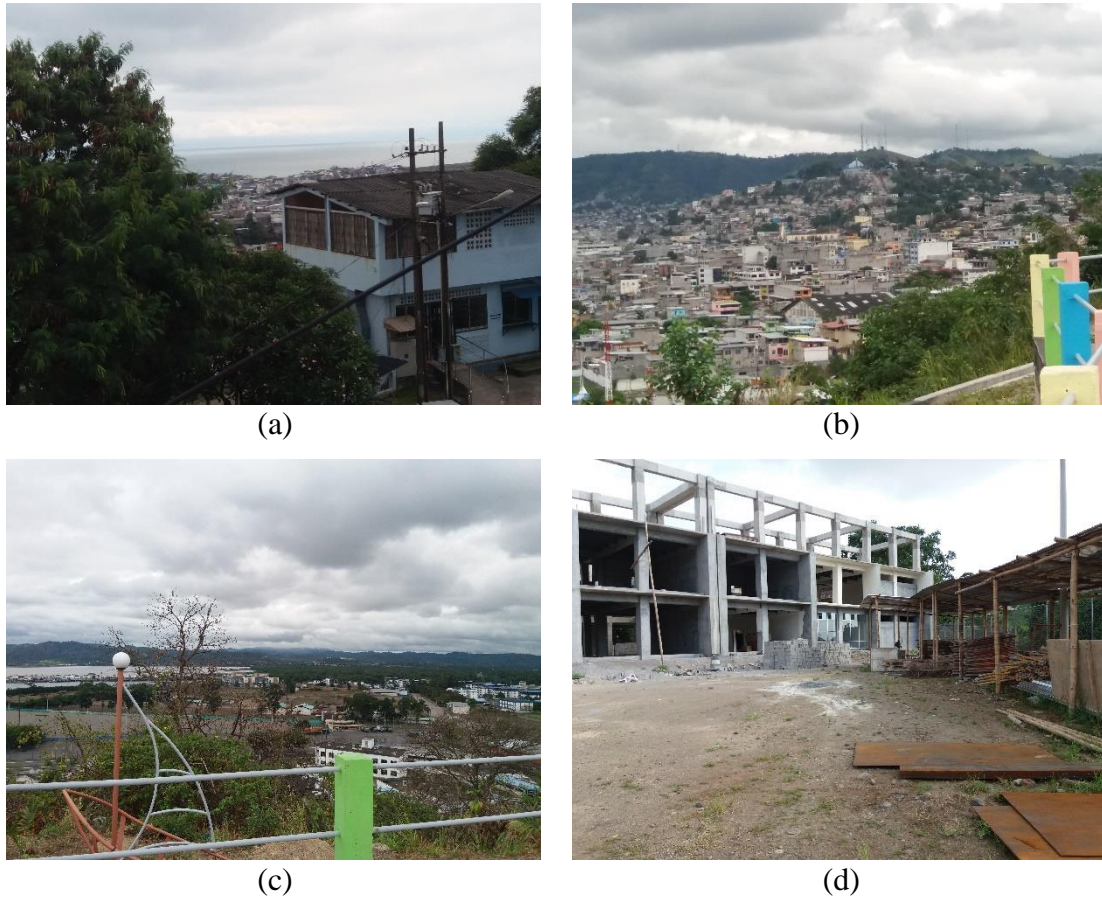
Para este quinto caso se utilizaron las respectivas coordenadas seleccionadas para el punto de Santa Cruz y Tachina, de igual manera para el punto de repetidor en la localización del Panecillo, las cuales se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Coordenadas seleccionadas para el quinto caso

PUCESE (Campus Santa Cruz) – Gatazo – PUCESE (Campus Tachina)							
Ubicación de referencia	GARMIN GPSmap 62s			Conversión Arc Geek		Arc, Manual, RM	
	Sistema UTM			Grados sexagesimales		Decimales	
	X	Y	GPS	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Terraza	0649363	0107445	3 m	0° 58' 18.5484"	79° 39' 27.5191"	0,971819	-79,657644
Mirador	0649803	0109179	3 m	0° 59' 15.0036"	79° 39' 13.2635"	0,987501	-79,653684
Patio	0653758	0105263	3 m	0° 57' 07.4412"	79° 37' 05.3795"	0,952067	-79,618160

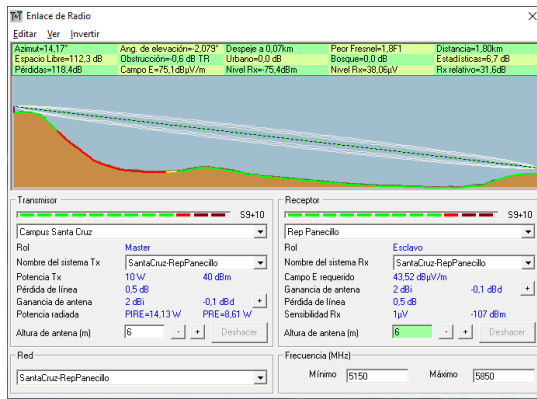
Como primer punto en este quinto caso se presenta la terraza del edificio más alto ubicado en el campus de Santa Cruz, cuyo punto tiene línea de vista directa hacia el sector del Panecillo como se muestra en la Figura 35 (a). Como punto intermedio entre ambos campus que se desea conectar, se presenta el mirador del Panecillo como se observa en la Figura 35 (b), el cual tiene línea de vista hacia el campus de Santa Cruz y hacia el campus de Tachina, por ende, este lugar es idóneo para colocar dos antenas que cumplan la función de repetidor. Cabe recalcar que a pesar de que en este punto intermedio se encuentra solo a 25 m sobre el nivel del mar y no es tan elevado como los otros puntos

intermedios de los casos anteriores, no se presentan obstáculos para ninguno de los dos enlaces como se muestra en la Figura 35 (c). Como punto de recepción se presenta al campus de Tachina como se aprecia en la Figura 35 (d), el mismo que tiene visibilidad directa hacia el Panecillo siempre y cuando se coloque la antena a una altura determinada.

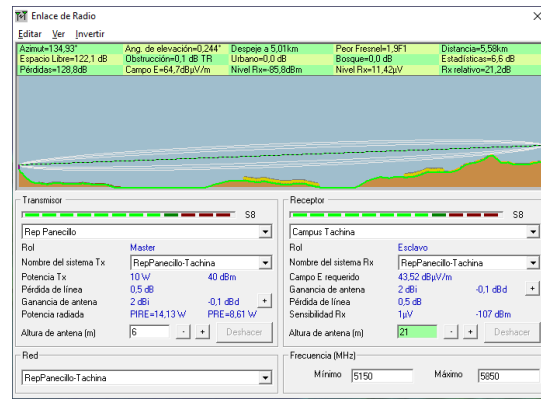


*Figura 35. Puntos que conectar para el caso 5*

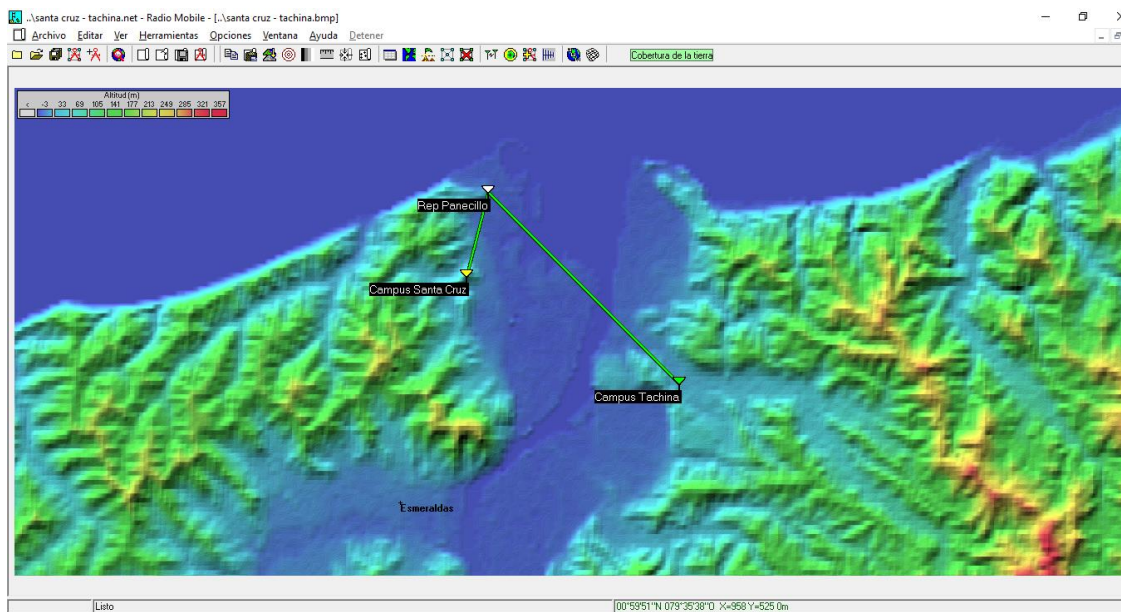
A pesar de que a simple vista desde cada uno de los puntos se lograba visualizar el punto con el cual conectar para obtener los dos enlaces, se realizaron las respectivas pruebas en el software de Radio Mobile, las mismas que permitieron obtener los resultados esperados debido a que si existe línea de vista entre el primer enlace desde Santa Cruz hasta el mirador del Panecillo como se muestra en la Figura 36 (a). De igual manera se demostró que existe línea de vista para el segundo enlace entre el mirador del Panecillo y el campus de Tachina como se presenta en la Figura 36 (b), por ende, se comprobó la factibilidad a través de este quinto caso como se observa en la Figura 36 (c).



(a)



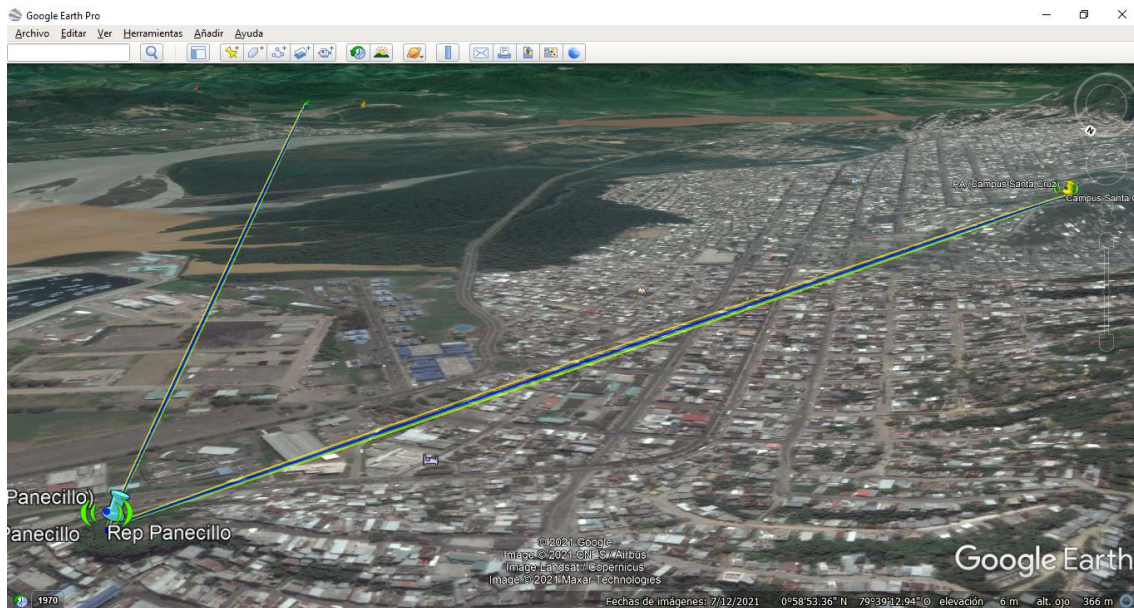
(b)



(c)

Figura 36. Visualización de los enlaces a través de un repetidor en el mirador del Panecillo

En este quinto y último caso analizado se determinó que tanto para el primer enlace con una distancia de 1,79 Km desde Santa Cruz hasta el Panecillo y para el segundo enlace con una distancia de 5,57 Km entre el mirador del Panecillo hasta el campus de Tachina, no se presentan obstáculos entre los puntos a conectar a través de un repetidor en el punto previamente seleccionado del Panecillo. Cabe mencionar que colocando una torre de 21 m en el campus de Tachina no se verán afectadas las zonas de Fresnel en el segundo enlace, de igual manera para el primer enlace debido a que existe línea de vista entre estos puntos analizados como se presenta en la Figura 37.



*Figura 37. Análisis por donde viajan las ondas electromagnéticas para el quinto caso*

Mediante este último caso analizado, también se comprobó la factibilidad de conectar ambos campus de la universidad a través de dos enlaces ubicados tanto en una zona urbana como una zona rural, Para ello en este caso analizado se debe colocar un mástil de 6 m en la terraza del edificio más alto de Santa Cruz y realizar un convenio con Autoridad Portuaria para permitir colocar un mástil en el mirador del Panecillo que conecte con el campus de Tachina, en el que se debe ubicar una torre ventada de 21 m para evitar que se vean afectadas las zonas de fresnel y lograr la conexión con éxito. Ambos enlaces realizados para este quinto caso también se pueden visualizar en el Anexo 13.

Al comprobar la viabilidad de este caso en comparación a los cuatro casos anteriores se demostró que este es el mejor y más conveniente, debido a que en este último caso ya se han presentado antecedentes de conexiones a través de radio enlaces, por ende, se debe realizar el respectivo convenio con Autoridad Portuaria para colocar un mástil de 6 metros junto con los respectivas antenas y equipos de radio que permitan hacer la función de repetidor entre el campus de Santa Cruz y Tachina. Cabe mencionar que en este punto se cuenta con requisitos claves para la conexión de radio enlaces como es la energía eléctrica y que también se cuenta con seguridad en este mirador del Panecillo, por ende, se trabajó con este caso para realizar la simulación en base a una frecuencia y equipos determinados en los que se analizan otros factores importantes en la factibilidad de este sistema de radio enlace.

### 3.2 Comparación de bandas y frecuencias

Todo enlace inalámbrico necesita de una determinada frecuencia para establecer comunicación entre puntos, la cual está comprendida en una banda, es por ello por lo que en esta investigación se realizó una comparativa entre las bandas licenciadas y las bandas no licenciadas en las que se determinó las bandas no licenciadas en el uso de este estudio para conectar el campus de Santa Cruz y Tachina.

#### 3.2.1 Bandas licenciadas y no licenciadas

El espectro electromagnético se encuentra dividido en intervalos de frecuencias, las mismas que son llamadas bandas de frecuencias y son asignadas para diferentes usos dentro de las radios comunicaciones. Es importante mencionar que el espectro electromagnético está organizado de acuerdo con la frecuencia correspondiente a las ondas que lo integran y las longitudes de ondas.

Cada país tiene un marco regulatorio que indica la utilización de cada banda. En el Ecuador existe la entidad llamada Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones “ARCOTEL”, que regula y clasifica a través de un documento llamado “Plan Nacional de Frecuencias”, en bandas licenciadas y no licenciadas. Esta entidad designa las bandas y frecuencias correspondiente a utilizar para la comunicación de radio enlaces acorde a las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). A continuación, se presenta en la Tabla 22 una comparación entre las bandas licenciadas y no licenciadas.

Tabla 22. Comparación entre las bandas licenciadas y no licenciadas

Características	Bandas licenciadas	Bandas no licenciadas
<b>Usabilidad</b>	Solo para operadores de Telecomunicaciones	No operadores de Telecomunicaciones
<b>Requerimientos</b>	Trámites legales, permisos ante el Ministerio de Telecomunicaciones	No se necesita realizar trámites legales ni permisos
<b>Pago</b>	Se paga por usarlas	No se paga por usarlas
<b>Concesión</b>	Se necesita concesión de ARCOTEL	No se necesita concesión en algunos casos

En base a esta comparativa se determinó que la banda dispuesta para esta investigación es la banda no licenciada, debido a que el agente involucrado es la universidad y por lo tanto no es un operador de Telecomunicación. Es importante mencionar que, aunque en esta investigación se haga uso de una banda no licenciada como es el caso de la banda de 5 GHz, al momento de implementar ambos enlaces, éstos se deben reportar ante la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

### 3.2.2 Banda de 2.4 GHz y 5 GHz

Posteriormente analizadas las bandas existentes y seleccionada la banda no licenciada, se analizó las tres bandas de frecuencias no licenciadas, que son: banda de 900 MHz, 2.4 GHz y 5 GHz. Cabe recalcar que la banda de 900 MHz se encuentra obsoleta para radio enlaces, por lo tanto, se procedió a realizar una comparativa entre la banda de 2.4 GHz y la banda de 5 GHz como se presenta en la Tabla 23.

Tabla 23. Comparación entre bandas de 2.4 GHz 5 GHz

Características	Banda de 2.4 GHz	Banda de 5 GHz
<b>Longitud de onda</b>	Más amplia, más extensa	Menos amplia, menos extensa
<b>Cantidad de ciclos de onda</b>	Un ciclo de onda de 2.4 GHz	Dos ciclos de onda de 5.0 GHz
<b>Distancia</b>	Largas distancias	Cortas distancias
<b>Cantidad de energía</b>	Se tiene menos energía	Se tiene más energía
<b>Ancho de banda</b>	Menor capacidad del ancho de banda	Mayor capacidad del ancho de banda
<b>Velocidad máxima</b>	Menos velocidad de conexión	Más velocidad de conexión
<b>Usabilidad</b>	Banda saturada	Banda actualmente en uso
<b>Interferencias</b>	Más interferencias	Menos interferencias

En la actualidad la banda de 2.4 GHz se encuentra saturada debido a que es una banda que lleva funcionando muchos años atrás, y si bien tiene una mayor compatibilidad con los dispositivos, esta banda permite navegar a velocidades bajas en comparación con la banda de 5 GHz, la cual es relativamente nueva pero ya se encuentra disponible en todos los dispositivos permitiendo un ancho de banda mayor al de la banda de 2.4 GHz.

Además, la banda de 5 GHz tiene un mayor número de canales y al ser una banda que no ha sido tan explotada como la de 2.4 GHz, existe muy poca interferencia.

### 3.2.3 Frecuencias

En el Ecuador la banda no licenciada de 5 GHz se encuentra comprendida entre el rango de 5150 a 5850 MHz, esto se encuentra estipulado en la norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha en la resolución de tel-560-18-conatel-2010.

### 3.3 Análisis de factores ambientales y geográficos

Para lograr realizar la simulación de la conexión entre ambos campus de la PUCESE a través del quinto caso en el que se comprobó la viabilidad del enlace cumpliendo el requisito más importante como es la línea de vista entre ambos enlaces y que no se viera afectadas las zonas de fresnel, es necesario analizar las zonas geográficas en las que se encuentra estos puntos a conectar como se muestra en la Figura 38 para evitar atenuaciones o pérdidas y que el enlace no se caiga.

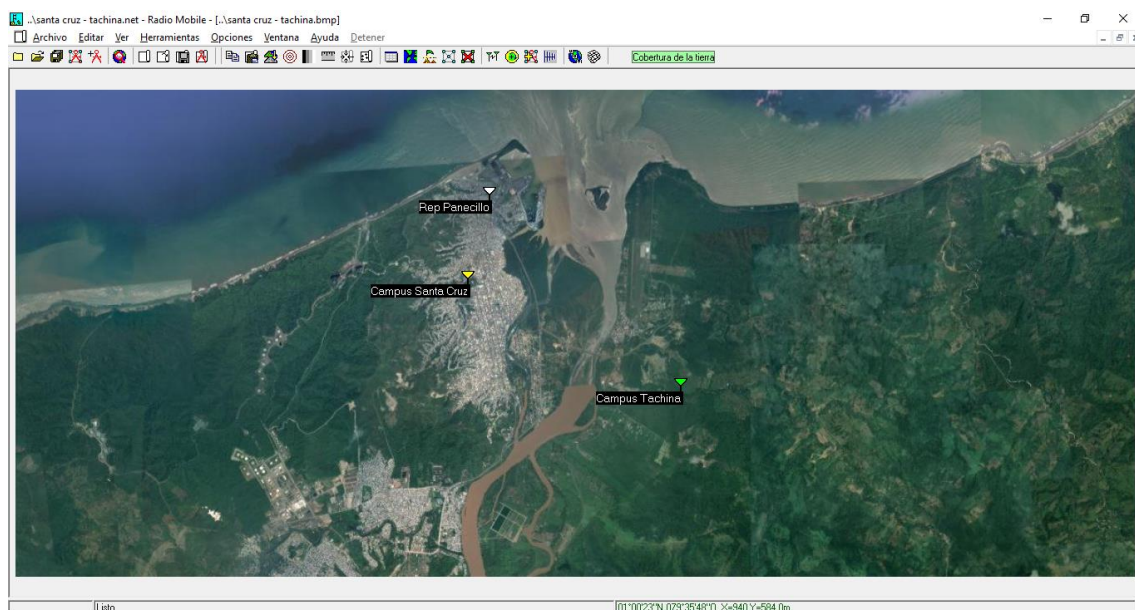
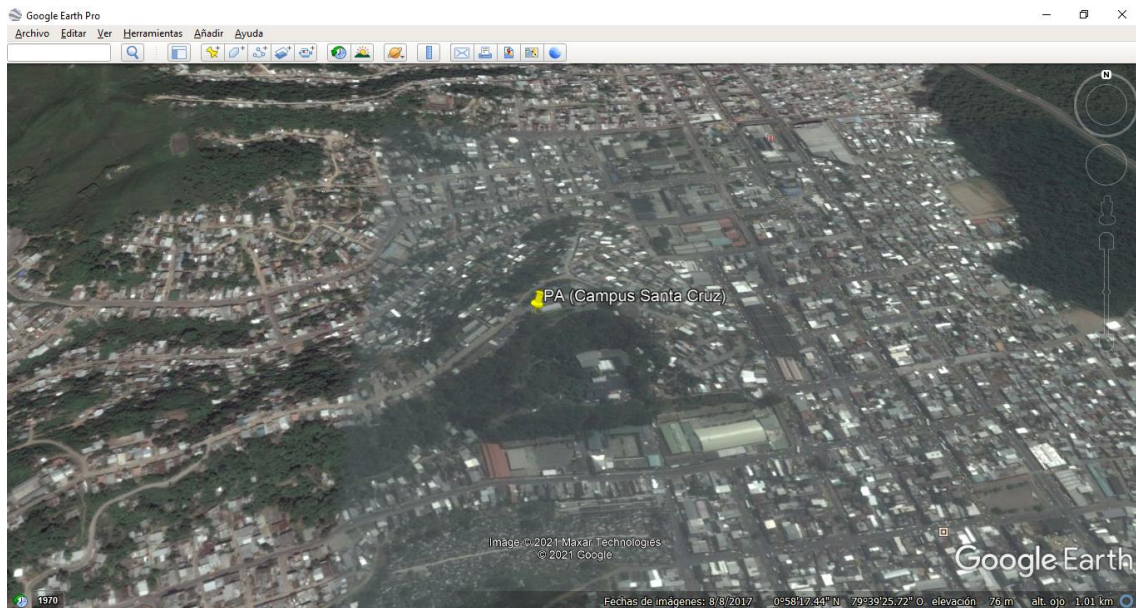


Figura 38. Mapa de los puntos a analizar geográficamente

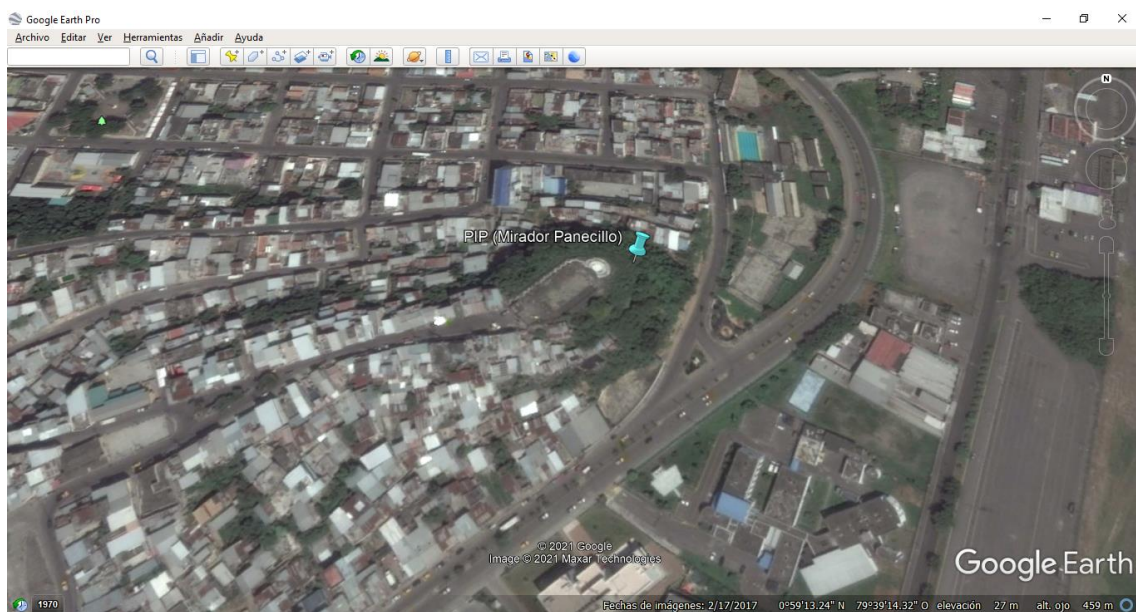
Como primera zona se presenta al campus de Santa Cruz de la PUCESE ubicado en una zona urbana en el centro de la parroquia Esmeraldas, este campus se encuentra en una montaña a 88,1 m sobre el nivel del mar como se observa en la Figura 39.



*Figura 39. Zona del campus de Santa Cruz*

En esta zona del campus de Santa Cruz, la parte delantera de la montaña se encuentra rodeada de árboles como se observa en la Figura 39, es por ello, que se utilizó el punto más elevado del edificio donde se ubica la antena transmisora a 6 m de altura y donde se tiene visibilidad absoluta hacia el mirador del Panecillo.

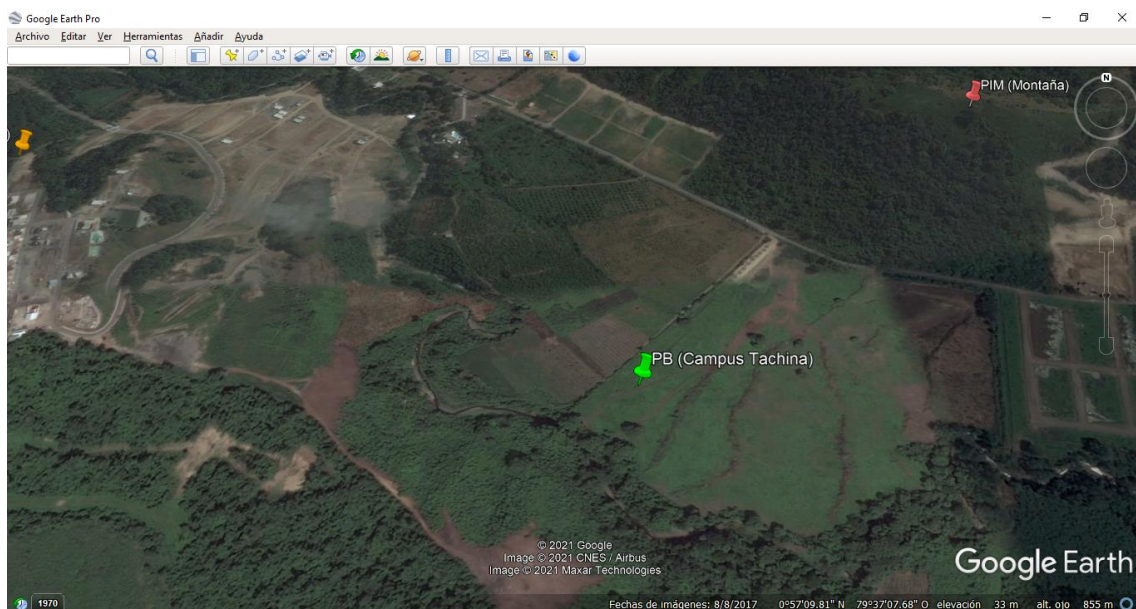
Como segunda zona se presenta el mirador del Panecillo ubicado en una zona urbana de la parroquia de Esmeraldas, este punto se encuentra a 25 m sobre el nivel del mar como se observa en la Figura 40.



*Figura 40. Zona del mirador del Panecillo*

En esta segunda zona se presenta al mirador del Panecillo, donde es el punto ideal para que funcione el repetidor entre ambos campus. En la actualidad esta zona se encuentra despejada de árboles y con línea de vista hacia ambos campus de la universidad, por ello, es necesario un mástil más no una torre ventada, con una altura de 6 m.

Como tercera zona se presenta al campus de Tachina ubicado en una zona rural de Esmeraldas como se observa en la Figura 41, a 34 m sobre el nivel del mar, esta zona se encuentra despejada de árboles como se observa en la Figura 41 que puedan afectar las zonas de fresnel. Es importante mencionar que parte de la pendiente de la montaña de Balcones de Tachina obstaculiza la vista, es por ello por lo que en este punto se debe colocar una torre de 21 m para evitar que las zonas de fresnel se vean comprometidas en el segundo enlace.



*Figura 41. Zona del campus de Tachina*

Al analizar las zonas de precipitación, como se observa en la Figura 42, se tiene que el punto A de transmisión ubicado en el Campus de Santa Cruz no existe mucha precipitación debido a que este punto se encuentra a 88,1 m sobre el nivel del mar, en cuanto al punto intermedio que cumple la función de repetidor ubicado en el mirador del panecillo existe mayor precipitación debido a que este sitio se encuentra a 25 m sobre el nivel del mar cerca de las zonas costeras de Esmeraldas. Por último, se presenta el punto B de recepción ubicado en el campus de Tachina, donde se observa que en esta zona existe una gran zona de precipitación debido a la poca altitud en la que se encuentra este campus, la cual es de 34 m sobre el nivel del mar. Cabe mencionar que, entre los factores

que influyen en las precipitaciones se encuentra la distancia al mar, debido a que mientras más cerca se encuentra, al calentarse el agua se evapora produciendo la lluvia, otro factor importante es la latitud, debido a que en el Ecuador la temperatura media es de 20 °C y, por último, el relieve de las zonas montañosas.

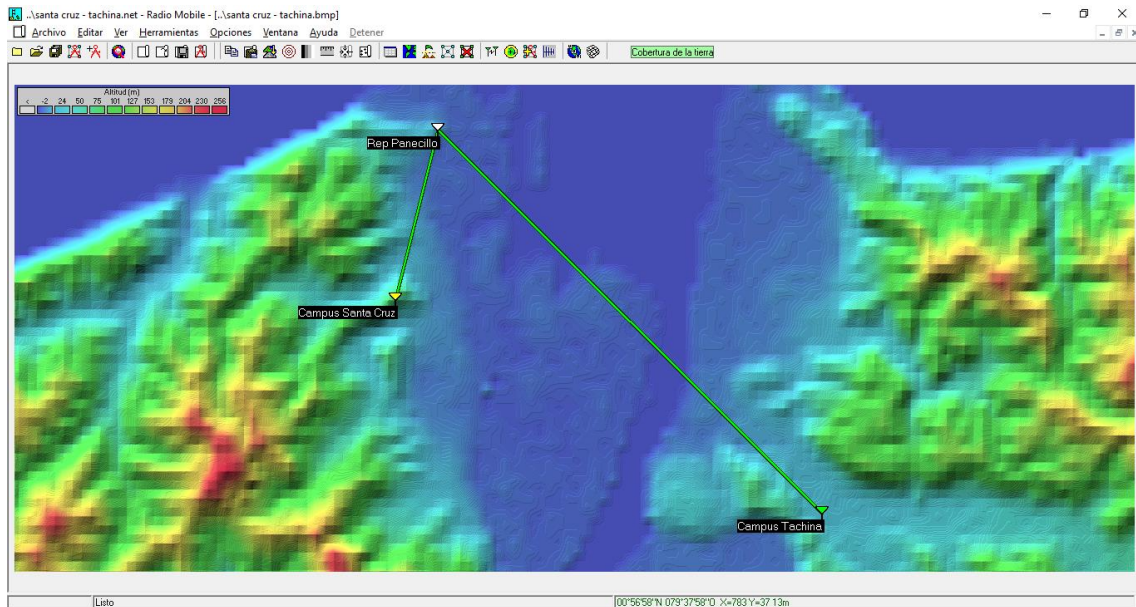


Figura 42. Mapa de precipitaciones

Una vez analizadas las zonas geográficas también es necesario analizar factores climáticos que influyan en la atenuación de la señal como es la lluvia, es por ello, que un factor clave para la factibilidad del radio enlace es la frecuencia con la cual se trabaja, es por ello por lo que en el objetivo 2, se determinó utilizar la banda de 5 GHz debido a que la longitud de onda debe ser más grande que una gota de lluvia para que el enlace no se caiga, por lo tanto, en esta investigación se tiene una longitud de onda de 6 cm entre pico y pico o valle y valle, debido a que se utilizó la banda de 5 GHz para la respectivas simulaciones y se determinó esta para el estudio planteado. Cabe recalcar que los equipos utilizados en esta investigación superan la comunicación ante adversidades climáticas como la lluvia.

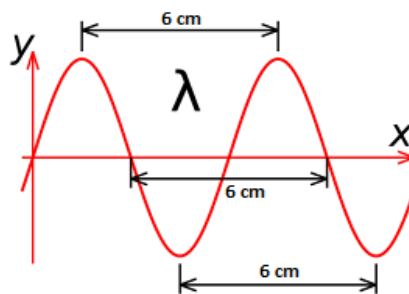


Figura 43. Longitud de onda de 6 cm

### 3.3.1 Equipos de radios y antenas

Luego de haber analizado los factores ambientales y geográficos se realizó una investigación, donde se determinó que los equipos de Cambium no son versátiles, en pocas palabras, cada uno de sus radios va conectado a una antena fija, la misma que no puede ser reemplazada, a diferencia de la versatilidad de equipos de la marca de Ubiquiti y Mimoso donde se elige con que antena trabajar ya sea pequeña, mediana o grande, de tal modo que es intercambiable. Un factor fundamental para determinar la marca con la cual realizar la simulación de los radio enlaces, es la herramienta de simulación, a pesar de que las tres marcas lo poseen, Ubiquiti presenta equipos de radio con nuevas tecnologías y con una capacidad de datos de hasta 1,34 Gbps, además, presenta toda una solución a la venta con la que se puede armar todo un sistema, como puede ser, radio enlaces, sistemas de vigilancia, routers, switch, access points, permitiendo gestionar a través de una herramienta de gestión de red, de tal forma que no solo se realice el enlace sino también que se pueda controlar el sistema de radio enlaces permitiendo que ninguno de los dos enlaces se caigan en el tiempo. En vista de esto, se determinó los equipos de radio y antenas de la marca Ubiquiti correspondientes a utilizar en esta simulación, debido a que se necesita obtener la información de estos equipos que se encuentra en los datasheets correspondientes.

En la Figura 44 se presenta el radio airFiber 5X HD el cual utiliza una nueva tecnología LTU que posee una gran serie de ventajas en cuanto a seguridad, rendimiento y funcionalidad, permitiendo hasta una potencia máxima de salida de 29 dBm. Además, estos equipos cuentan con un kit de actualización de IP67, el mismo que brinda una mayor protección ante el polvo y agua, de tal forma que, ante lluvia torrenciales, el enlace no dejará de funcionar. Es importante mencionar que estos equipos permiten pasar hasta 1,34 Gbps con la mejor modulación y en su ancho de canal máximo.



*Figura 44. Radio airFiber 5X HD*

Posteriormente se analizó que este equipo de Radio airFiber 5X HD necesita una antena que sea compatible, en la cual se utilizó una antena airFiber modelo AF-5G30-S45 que se presenta en la Figura 45, la misma que tiene una ganancia de 30 dBi.



Figura 45. Antena airFiber AF-5G30-S45

Para esta simulación propuesta se va a tener una capacidad de 292 Mbps de los cuales se reparte en la mitad para subida y la otra mitad para bajada de datos, para ello se requiere hacer uso de la modulación 1024 QAM MIMO, con un ancho de canal de 20 MHz para evitar interferencias, la misma que a través del datasheet de esta marca sugiere utilizar una potencia de salida de entre 19 a 20 dBm. Es importante mencionar que estos equipos superan la comunicación en caso de ocurrir lluvias en las zonas sujetas a estudio donde pasan ambos enlaces.

### 3.3.2 Simulación de los enlaces con AirLink

Al realizar la simulación con el software de AirLink con el que cuenta Ubiquiti se comprobó la viabilidad y factibilidad del primer enlace entre el campus de Santa Cruz y el mirador del Panecillo donde se coloca el repetidor con una distancia de 1,8 Km, obteniendo un enlace de 292 Mbps para este enlace como se observa en la Figura 46.

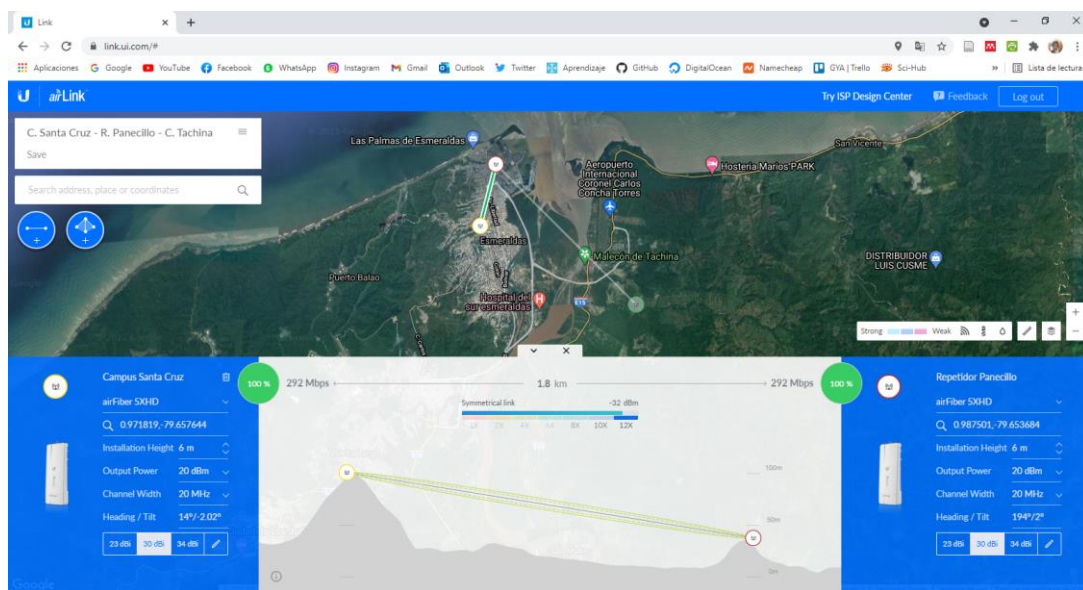


Figura 46. Enlace entre el campus de Santa Cruz y el repetidor mediante AirLink

De igual manera se comprobó la factibilidad del segundo enlace desde el repetidor ubicado en el mirador del Panecillo hasta el campus de Tachina con una distancia de 5,59 Km con un enlace de 292 Mbps como se presenta en la Figura 47, utilizando las mismas características del primer enlace debido a que es necesario trabajar con los mismos equipos, modulación, potencia de salida y ancho del canal.

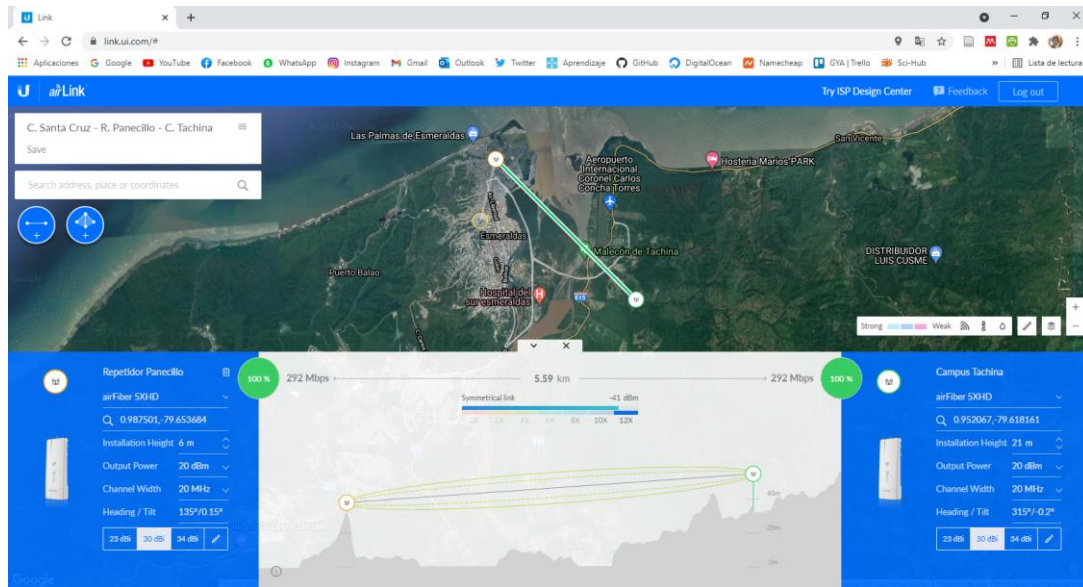


Figura 47. Enlace entre el repetidor y el campus de Tachina mediante AirLink

A través de la herramienta de AirLink de la marca de Ubiquiti se determinó la viabilidad de estos enlaces entre el campus de Santa Cruz, el repetidor en el mirador del Panecillo y el campus de Tachina de la PUCESE.

### 3.4 Simulación del sistema de radio enlaces

Para demostrar la factibilidad del radio enlace se obtuvieron los siguientes resultados a través de Radio Mobile, los mismos que fueron calculados de forma manual para determinar que los valores son reales, obteniendo los mismos resultados que en el software propuesto para esta simulación final.

#### 3.4.1 Simulación con Radio Mobile

Luego de haber analizado los factores ambientales, geográficos y de haber determinado las características esenciales en los equipos de radio y antenas de Ubiquiti, se obtiene en la Tabla 24 un resumen de las características para el sistema de radio enlaces.

Tabla 24. Parámetros generales para la simulación en Radio Mobile

Parámetros para la simulación	
<b>Modulación</b>	1024 QAM MIMO
<b>Ancho del canal</b>	20 MHz
<b>Potencia de transmisión</b>	20 dBm
<b>Ganancia de antenas</b>	30 dBi
<b>Sensibilidad de receptores</b>	-63 dBm

Al realizar la respectiva simulación entre el enlace de Santa Cruz y el repetidor en el mirador del Panecillo, se determinó la viabilidad del enlace, en la que se obtuvo un nivel de recepción de -39,4 dBm el cual es mayor a la sensibilidad del receptor de -63 dBm propuesto por estos equipos bajo esta modulación, obteniendo un margen relativo de 23,6 dB como se observa en la Figura 48, el mismo que se considera un excelente colchón, garantizando que el enlace no se va a caer.

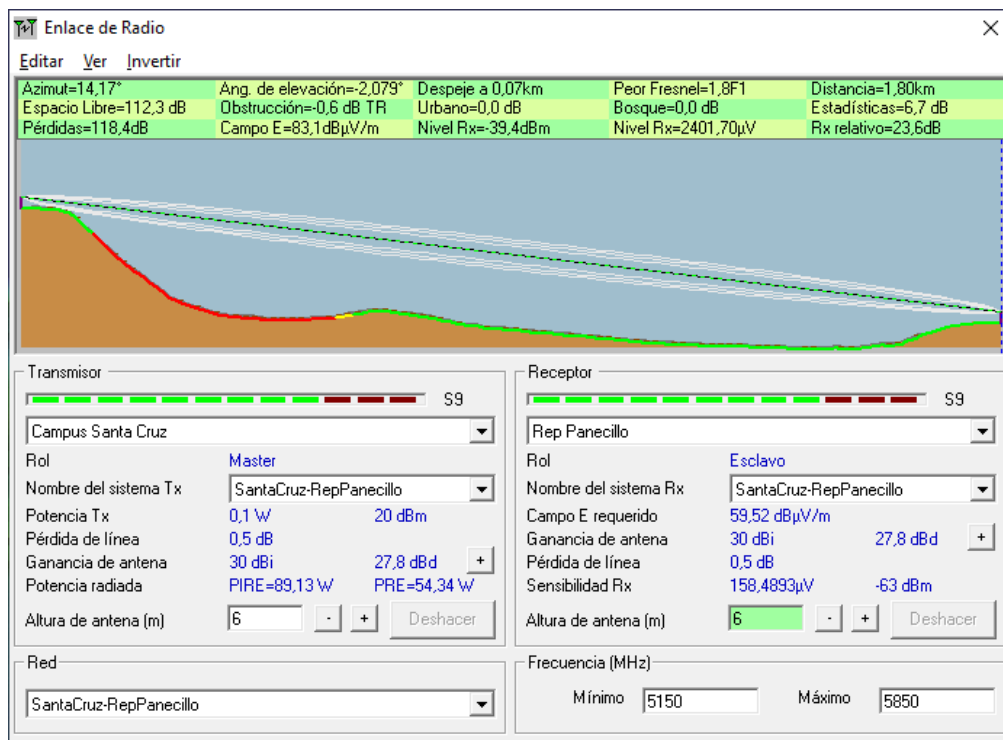


Figura 48. Resultados obtenidos en el enlace desde el campus Santa Cruz hasta el repetidor

De igual manera se obtuvo los resultados para el enlace entre el repetidor en el mirador del Panecillo y el campus de Santa Cruz, en el que se determinó la viabilidad de este enlace, obteniendo un nivel de recepción de -49,8 dBm, siendo mayor que la sensibilidad del receptor de -63 dBm propuesto de igual manera para este enlace, obteniendo además un margen relativo de 13,2 dB como se muestra en la Figura 49, el mismo que se considera como un colchón bastante fuerte e indica que el enlace no se va a caer.

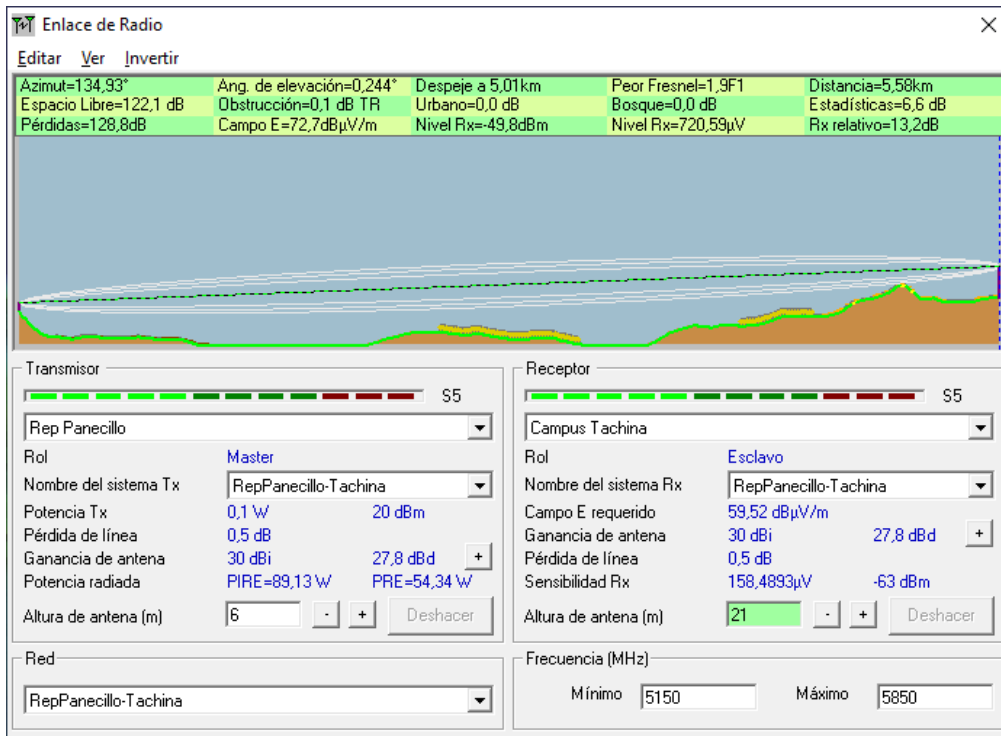


Figura 49. Resultados obtenidos en el enlace desde el repetidor hasta el campus Tachina

Posteriormente analizado los resultados en ambos enlaces, se determinó la factibilidad y viabilidad del radio enlace a través de un repetidor en el mirador del Panecillo como se muestra en la Figura 50, el cual consta de dos enlaces en los que se tiene línea de vista y la señal recibida hasta ambos receptores es mayor a la sensibilidad de los receptores, por ende, se establece un buen enlace para conectar ambos puntos a través de un repetidor.

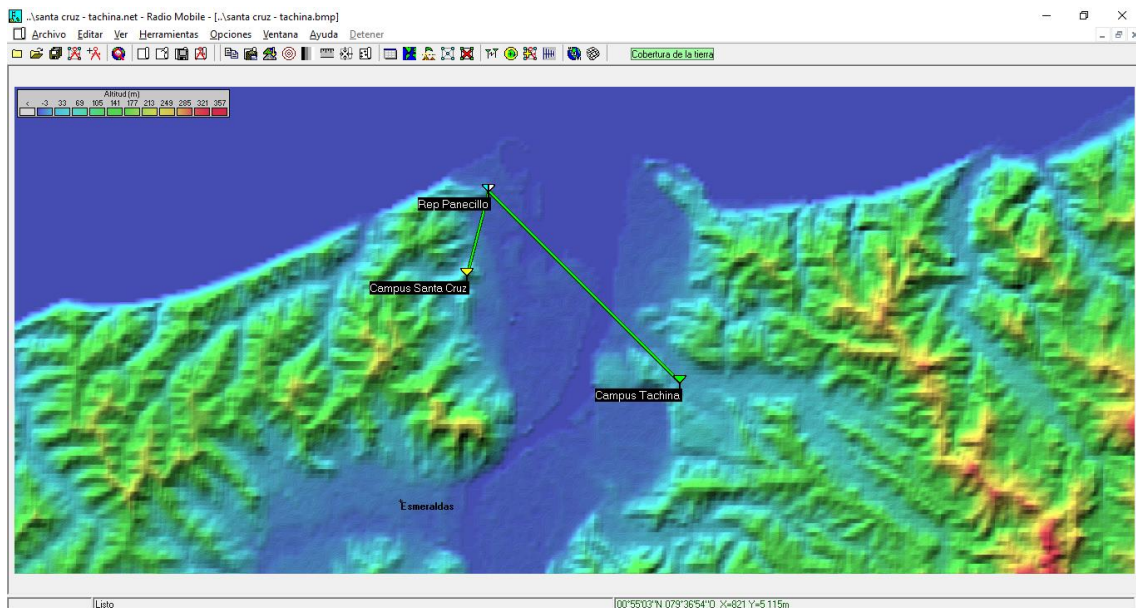


Figura 50. Resultado de la conexión a través de la simulación del radio enlace

A través de este software se comprobó la viabilidad y factibilidad de los enlaces de radio obteniendo resultados positivos mediante el Link Budget que lo realiza la herramienta de software libre de Radio Mobile.

### 3.4.2 Diseño de red

Al haber comprobado la viabilidad de los enlaces y la factibilidad del radio enlace a través de un punto intermedio que cumpla la función de repetidor, se realizó el respectivo diseño de la red, el mismo que se presenta en la Figura 51 con la finalidad de conectar el campus de Santa Cruz con el campus de Tachina de la PUCESE.

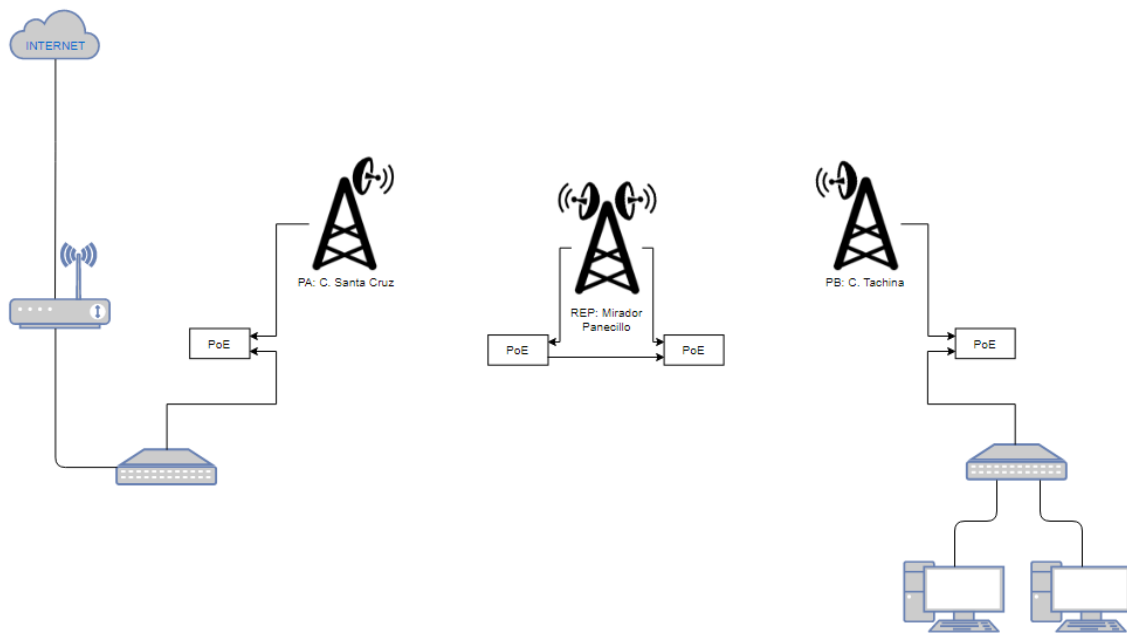


Figura 51. Diseño de la red de radio enlaces

El diseño comienza desde que una empresa provee de internet a la PUCESE a través de un router, el mismo que se conecta a un switch, y este se conecta a un puerto que transfiere datos, mientras que el otro puerto de este PoE transmite datos más energía, el mismo que se conecta a través un conector RJ45 a un radio junto a una antena. Posteriormente envía las ondas electromagnéticas hasta el siguiente punto ubicado en el repetidor, la antena del repetidor recibe estas ondas de radio las decodifica y pasa los datos de la antena receptora del repetidor a la antena transmisora del mismo punto a través de una conexión entre ambos PoE que se encuentran en este punto, luego de ello, envía las ondas de radio a la antena receptora en el campus de Tachina para decodificar los datos y conectarse a un switch que posteriormente reparte el internet a los dispositivos conectados a esta red.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

La investigación tuvo como objetivo simular un sistema de radio enlaces entre el campus de Santa Cruz y el campus de Tachina de la PUCESE ubicado en la ciudad de Esmeraldas durante el año 2021, del mismo modo se analizaron las diferentes bandas y frecuencias, al igual que las zonas en las que se encuentran estos puntos a conectar incluyendo la zona del repetidor, y en base a ello se determinaron los mejores equipos de radios y antenas para lograr conectar ambos puntos a través de una simulación la misma que demostró la factibilidad y viabilidad de un sistema de radio enlaces.

La mayor limitante de la investigación se presentó cuando al tomar las coordenadas se visualizaba a simple vista que no existía línea de vista entre ambos campus, es por ello por lo que se tuvo que hacer uso de un repetidor que permita triangular las ondas de radio enlace para lograr comunicar ambos puntos.

En el estudio propuesto por Durney et al. [41], se realizó el respectivo diseño y la implementación de radio enlaces junto a estaciones repetidoras Wifi, para lo cual primero se realizó un estudio con el software de Radio Mobile y comprobar la viabilidad del sistema de radio enlaces, en este estudio se implementaba una estación repetidora debido a que se envió internet a 16 escuelas. Al igual que en esta investigación llevada a cabo se hizo uso de un repetidor en el mirado del Panecillo para lograr obtener línea de vista y conectar ambos puntos a través de una simulación en el mismo software de esta investigación.

En la investigación propuesta por Tapias y Camacho [42], se planteó desarrollar un medio de comunicación inalámbrica como son los radio enlaces para conectar el hospital de Purificación con algunos de los puestos de salud, debido a que estos puestos de salud se encuentran en zonas rurales, donde se dificulta el acceso a internet a través de los medios alámbricos, para ello también utilizaron el software de Radio Mobile para realizar un estudio previo con una banda de 4.9 a 6 GHz. En el caso de estudio planteado en esta investigación se utilizó la banda de 5 GHz para garantizar la viabilidad del enlace a través de la simulación de Radio Mobile.

En el estudio propuesto por González [43], se realizó el diseño de un sistema de radio enlaces para comunicar dos plantas de una misma empresa que se sitúan en pueblos contiguos con una línea de visión directa, para lo cual se realizó primero la respectiva simulación con Radio Mobile y Google Earth para determinar la viabilidad del enlace, el

mismo que utilizó equipos de la marca Ubiquiti con una frecuencia entre 5.1 GHz a 5.9 GHz. De igual forma en esta investigación propuesta se utilizaron equipos de Ubiquiti junto a la banda de 5 GHz y posterior a ello se desarrolló las respectivas simulaciones con el software de Radio Mobile y la ayuda de Google Earth para determinar la factibilidad y viabilidad del enlace.

En una investigación propuesta por Naranjo [44], se realizó la implementación de un sistema de radio enlaces para brindar de conexión a Internet a 13 sedes educativas ubicadas en el Valle del Cauca (Colombia), propuesto por el Ministerio de Educación Nacional y el Ministerio de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones, para ello utilizaron el software de LinkPlanner correspondiente a la marca de Cambium. A diferencia de esta investigación, en ésta, se utilizó el software de AirLink de Ubiquiti para determinar la capacidad de transmisión en base a características de equipos obtenidos previo a estudios realizados.

Finalmente, en un estudio propuesto por Suqui [45], en la provincia de Morona Santiago se realizó el respectivo estudio de un radio enlace a través de la aplicación de Radio Mobile en el que se determinó que la inexistencia de línea de vista, por ende se buscó cerros donde ubicar las torres lo más altas posibles para que se logren conectar los puntos. Al igual que en esta investigación se desarrolló la simulación en la misma que se determinó que no existía línea de vista, por ende, se optó por colocar un repetidor en el mirador del Panecillo, para triangular la señal y lograr comunicar ambos puntos sujetos a estudio.

En todos los estudios propuestos en esta sección hicieron uso del software de distribución libre de Radio Mobile, demostrando su efectividad a la hora de diseñar un sistema de radio enlaces para posteriormente implementarlo, al igual que se hizo uso de Google Earth, comprobando que es un excelente complemento en el cual se puede visualizar satelitalmente los puntos a conectar.

Los resultados obtenidos al realizar la simulación final con el software de Radio Mobile muestran que, si es viable conectar ambos campus por medio de un repetidor tomando en cuenta las características de los equipos que se usaron en la respectiva simulación tanto de AirLink como de Radio Mobile demostrando que, si es posible la comunicación porque los resultados obtenidos del nivel de recepción fueron mayores a la sensibilidad de los receptores, por ende, este sistema de radio enlaces es factible y viable.

## **CAPÍTULO V: PROPUESTA**

A través de esta investigación se determinó la viabilidad de un sistema de radio enlaces a través de un repetidor, debido al gran obstáculo (montaña de Balcones de Tachina) que existe entre ambos campus que se simula conectar. Para ello, se debe utilizar como punto de transmisión, la terraza que se encuentra ubicada en el edificio más alto del campus de Santa Cruz, en la se debe colocar una torre ventada de 6 m o también se podría utilizar un mástil que se encuentre sujetado correctamente a losa de esta terraza para evitar que se oscile con el viento en su parte más elevada, de igual manera si se utiliza una torre ventada debe estar sujeta a través de cables de acero que estén conectados a anclajes con grilletes alrededor de la torre, lo que asegura que no se oscile con el viento y que a su vez cumpla con los requisitos necesarios para ubicar una torre. En este punto se debe ubicar la antena transmisora marca airFiber AF-5G30-S45 junto con su radio airFiber 5X HD en la parte posterior, debido a que estos equipos vienen con una base de montaje para evitar pérdidas en los cables. Cabe mencionar que esta red de radio enlace debe llevar los mismos equipos en cada uno de los puntos que se va a conectar. Luego en donde se ubica el repetidor, mirador del Panecillo se debe colocar un mástil de 6 m de alto, y en él colocar la antena receptora de ondas con vistas a el campus de Santa Cruz, a su vez se debe colocar la antena transmisora que va a mandar las ondas hacia el campus de Tachina, por ende, debe encontrarse con vista hacia el nuevo campus. Para lograr comunicar estos dos radios y antenas ubicadas en el repetidor, se debe conectar ambos PoE a través de un cable de red con un conector RJ45 haciendo la función de repetidor. Posteriormente en el campus de Tachina se debe colocar una torre ventada de 21 m en la cual se ubica la antena receptora con dirección al mirador del Panecillo, la misma que se conecta a un PoE y a su vez este se conecta a un router o switch permitiendo la llegada de los datos.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

En esta investigación se determinó la factibilidad de comunicar el campus de Santa Cruz ubicado en una zona urbana con el campus de Tachina de la PUCESE ubicado en una zona rural a través del quinto caso, haciendo uso de un repetidor en el mirador del Panecillo, debido a que no existía línea de vista entre ambos puntos que se simuló conectar a través de los diferentes softwares utilizados en este estudio. Además, se puede concluir que, aunque los cuatro primeros casos presentados en esta investigación tuvieron una posible solución, es difícil determinar si en un futuro construirán alguna vivienda en la montaña de Balcones de Tachina, que coloque en riesgo el enlace entre ambos puntos y se vea afectada la zona de fresnel, dando por caído el enlace completamente, al igual que es más factible colocar unas antenas con la función de repetidor en un lugar donde se cuenta con energía eléctrica y seguridad a diferencia de un sitio donde no se tienen estos factores claves para la implementación de radio enlaces.

Este estudio también permitió determinar la mejor banda para trabajar en la simulación y en el estudio en ambos enlaces, respetando las normas del Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, junto a los estatutos impuestos por ARCOTEL para la implementación de radio enlaces, por ende, se concluye que para este estudio la mejor banda es la de 5 GHz debido a que es una banda no licenciada y relativamente nueva en la que se tiene menos interferencias y mayor capacidad del ancho de banda a comparación de la banda de 2.4 GHz que es una banda muy saturada.

Además, en esta investigación se concluyó que el punto donde se ubica el repetidor en el mirador del Panecillo es la zona con mayor precipitación, debido a la latitud en que se encuentra esta ubicación al igual que por estar cerca al mar, de igual manera la localización del campus de Tachina debido a la latitud y su zona montañosa, por ende, se recomienda determinar las mejores tecnologías en los equipos de radio y antenas para lograr la comunicación ante factores climáticos como es el caso de la lluvia.

Por último, se concluye en que son viables los dos enlaces que se realizaron en las simulaciones a través de un repetidor ubicado en el mirador del Panecillo con uso de la banda de 5 GHz, debido a que el nivel de recepción es mayor a la sensibilidad de ambos receptores, por lo cual, se garantiza que el enlace funcionará correctamente, permitiendo llevar internet de un punto a otro a través de este medio inalámbrico como es el radio enlace.

## **CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES**

En base al desarrollo de esta investigación se recomienda utilizar un GPS de mano profesional, debido a que el porcentaje de error en cuanto a la toma de coordenadas se refiere, es menor al de una aplicación móvil, debido a que en un GPS profesional como es el caso de GARMIN 62s el mismo que fue utilizado en esta investigación, se encuentra conectado a un mayor número de satélites que están en la atmósfera alrededor de la Tierra. Además, se recomienda evaluar soluciones alternativas en caso de que se deba colocar un repetidor como en esta investigación, en las mismas que se debe tomar en cuenta factores como, si el terreno es propio o no, debido a que esto implica un mayor costo al tener que alquilar un terreno, también se debe considerar si se cuenta con el espacio suficiente para colocar una torre ventada, o si se cuenta con energía eléctrica y seguridad en el punto que se busca conectar, además de analizar el factor costo para determinar la opción más viable con la cual trabajar.

Se recomienda trabajar con una banda no licenciada como es el caso de la banda de 5 GHz debido a que no se necesitan permisos ni trámites legales, ni se paga por usarla, además, es una banda que tiene un mayor número de canales y se presenta menos interferencia en comparación a la banda de 2.4 GHz y también se presenta una mayor capacidad del ancho de banda, sin embargo, el enlace que se realice debe ser de conocimiento ante la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

Se recomienda analizar las zonas que se buscan conectar a través de un software como también a través de un estudio de campo que permitan determinar factores geográficos como posibles obstáculos debido a que los softwares trabajan con el relieve de la Tierra y no toma en cuenta los edificios, también se debe analizar las zonas de precipitación para elegir equipos adecuados que permitan comunicar ambos puntos a conectar.

Por último, se recomienda analizar la viabilidad de los enlaces a través del margen relativo entre el nivel de recepción y la sensibilidad del receptor para asegurar el envío de datos desde un punto a otro, y sobre todo que ninguno de los enlaces se caiga en la llegada a su punto destino, garantizando la efectividad de ambos enlaces propuestos en esta investigación a través de un repetidor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T. Bartman, B. Rowland, and L. Rogers, “Expanding Protection and Control Communications Networks with Wireless Radio Links,” *Pap. Present. Annu. Conf. - Rural Electr. Power Conf.*, vol. 2019-April, pp. 39–45, 2019, doi: 10.1109/REPC.2019.00016.
- [2] P. Rajchowski, K. K. Cwalina, P. T. Kosz, J. Stefanski, and J. Sadowski, “Path loss measurements in wideband radio link designed for maritime environment,” *URSI 2018 - Balt. URSI Symp.*, pp. 115–116, 2018, doi: 10.23919/URSI.2018.8406714.
- [3] I. Visveswaran, S. Chaudhuri, C. R. Mahesh, and D. Jalihal, “Duplexing and throughput analysis for frequency hopping line of sight radio link under high jamming battlefield environment,” *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, vol. 2018-Octob, no. October, pp. 518–523, 2019, doi: 10.1109/TENCON.2018.8650484.
- [4] L. Luini, G. Roveda, M. Zaffaroni, M. Costa, and C. Riva, “EM wave propagation experiment at E band and D band for 5G wireless systems: Preliminary results,” *IET Conf. Publ.*, vol. 2018, no. CP741, 2018, doi: 10.1049/cp.2018.0378.
- [5] I. Dan, G. Ducournau, S. Hisatake, P. Szriftgiser, R. P. Braun, and I. Kallfass, “A Terahertz Wireless Communication Link Using a Superheterodyne Approach,” *IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 32–43, 2020, doi: 10.1109/TTHZ.2019.2953647.
- [6] A. Acampora, S. H. Bloom, and S. Krishnamurthy, “UniNet: A hybrid approach for universal broadband access using small radio cells interconnected by free-space optical links,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 16, no. 6, pp. 973–987, 1998, doi: 10.1109/49.709456.
- [7] A. G. Cappiello, D. C. Popescu, J. S. Harris, and O. Popescu, “Radio link design for cubesat-to-ground station communications using an experimental license,” *ISSCS 2019 - Int. Symp. Signals, Circuits Syst.*, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/ISSCS.2019.8801767.
- [8] J. E. E. Diaz and A. A. R. Hernandez, “Methodology to implement a satellite ground university station,” *CHILECON 2015 - 2015 IEEE Chil. Conf. Electr. Electron. Eng. Inf. Commun. Technol. Proc. IEEE Chilecon 2015*, pp. 261–267,

- 2016, doi: 10.1109/Chilecon.2015.7400386.
- [9] I. Jung *et al.*, “Construction of University Ground station using S-band for cubesat,” *SpaceOps 2016 Conf.*, no. May, pp. 1–8, 2016, doi: 10.2514/6.2016-2574.
- [10] Sutrisno and H. Madiawati, “Broadband Access Using Ethernet over PDH Based Microwave Radio Link for Rural Area,” *Proceeding 2019 5th Int. Conf. Wirel. Telemat. ICWT 2019*, pp. 3–7, 2019, doi: 10.1109/ICWT47785.2019.8978235.
- [11] C. Ziolkowski, J. M. Kelner, and L. Nowosielski, “Effect of Interference Source with Directional Antenna on Radio Link in Non-Line-of-Sight Conditions,” *Prog. Electromagn. Res. Symp.*, vol. 2018-Augus, no. 1, pp. 1784–1790, 2018, doi: 10.23919/PIERS.2018.8598087.
- [12] J. Wilk-Jakubowski, “Predicting satellite system signal degradation due to rain in the frequency range of 1 to 25 GHz,” *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 27, no. 1, pp. 391–396, 2018, doi: 10.15244/pjoes/73906.
- [13] B. Ramos, M. Cordero, K. Hurtado, A. Nunez, and M. D’Amico, “Rain rate estimation using a microwave link in Guayaquil City,” *2017 IEEE 2nd Ecuador Tech. Chapters Meet. ETCM 2017*, vol. 2017-Janua, no. 2, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ETCM.2017.8247522.
- [14] T. Edition and G. Held, *Understanding Data Communications*, Third Edit., vol. 5, no. 2. USA: Gilbert Held, 1990.
- [15] B. A. Forouzan, *Data Communications and Networking (McGraw-Hill Forouzan Networking)*, Fourth Edi. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2007.
- [16] Umar Hayat, “Network guide,” *Phys. Bull.*, vol. 31, no. 2, pp. 46–46, Sep. 1980, doi: 10.1088/0031-9112/31/2/008.
- [17] J. Joskowics, “Redes de datos,” in *Redes Corporativas*, vol. 4, 2007, p. 118.
- [18] J. J. Regalado Jalca *et al.*, *Redes de computadoras*, Quinta Edi. México: Pearson, 2018.
- [19] W. Stalling, *Comunicaciones y redes de computadoras*, Seventh Ed. Madrid: Pearson, 2004.

- [20] Johana Andrea Piernagorda, “Técnico en sistemas: Medios de Transmisión,” Sep. 04, 2015. <http://tecnicoensistemasjap.blogspot.com/2015/09/medios-de-transmision.html> (accessed Feb. 16, 2021).
- [21] Novelec, “Cable coaxial: Tipos y características - Grupo Novelec,” Nov. 16, 2020. <https://blog.gruponovelec.com/redes-vdi/cable-coaxial-tipos-y-caracteristicas/> (accessed Feb. 16, 2021).
- [22] Adrián Ordoñez, “Fibra óptica,” Aug. 29, 2015. <https://adrianordonhes.wordpress.com/2015/08/29/fibra-optica/> (accessed Feb. 16, 2021).
- [23] Leandro J. Umbrial, “Canales de Transmisión Guiados | El Maravilloso Mundo de las Redes.” <https://leandrojhumbrial.wordpress.com/canales-de-transmision/canales-de-transmision-guiados/> (accessed Feb. 16, 2021).
- [24] E. Communications and -Global Smart, “E-Global Smart Communications - Redes & Enlaces.” <http://smartcomm.mx/redes.html> (accessed Jan. 24, 2021).
- [25] Cristian Daniel, “Como funcionan los satélites - Educacion Tecnologica - Campus Virtual ORT,” Sep. 03, 2020. <https://campus.belgrano.ort.edu.ar/educaciontecnologica/articulo/1411316/como-funcionan-los-satelites> (accessed Feb. 16, 2021).
- [26] G. Duperut, “Comunicaciones y Redes Comunicaciones y Redes Gabriel Duperut Inicio de las Telecomunicaciones,” pp. 1–13, 2013.
- [27] A. de R. y C. de las T. \_ Ecuador, “Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones \_ Ecuador,” [https://issuu.com/arcotelecuador/docs/pnf-final\\_1\\_2017](https://issuu.com/arcotelecuador/docs/pnf-final_1_2017), 2015. <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-3/> (accessed Jan. 03, 2021).
- [28] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, “Plan Nacional de Frecuencias,” vol. versión 5, p. 167, 2017, [Online]. Available: <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>.
- [29] J. Luque, “Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico,” *Acta*, pp. 17–31, 2012.
- [30] Seguricorp, “¿Que es un radioenlace?,” Oct. 18, 2010. [103](http://videovigilancia-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

- digital.blogspot.com/2010/10/que-es-un-radioenlace.html (accessed Feb. 16, 2021).
- [31] E. Engineers, “IEEE Std 145-1983 IE E E Standard Definitions of Terms for Antennas,” vol. 1983, 1983.
- [32] J. Anguera and Pérez. Antonio, *Teoría de Antenas*. 2008.
- [33] Núria Vila, “Antena satelital: ¿Cuál es la mejor del 2021? | Monederosmart,” Oct. 06, 2020. <https://www.monederosmart.com/antena-satelital/> (accessed Feb. 16, 2021).
- [34] A. Cortes, “¿Qué es ancho de banda?,” pp. 1–2, 2014, [Online]. Available: <http://www.rnds.com.ar/articulos/065/108w.pdf>.
- [35] W. Tomasi, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, Cuarta Edi. México: Pearson, 2013.
- [36] José Luis Martínez, “PRORED | Base científica de la comunicación inalámbrica,” Jul. 06, 2018. <https://www.prored.es/base-cientifica-comunicacion-inalambrica/> (accessed Feb. 16, 2021).
- [37] A. C. L. Constantino Pérez Vega, José María Zamanillo Sainz de la Maza, *Sistemas de telecomunicación*, First edit. Santander: Ed. Universidad de Cantabria, 2007.
- [38] J. L. Martínez, “Zonas de Fresnel en un radioenlace,” *PRORED*, Jul. 13, 2018. <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/> (accessed Feb. 16, 2021).
- [39] C. F. Luna Ger, “Pruebas de campo sobre propagación de ondas electromagnéticas mediante la implementación de un Radioenlace con equipos de radio definido por software,” Escuela Politécnica Nacional, 2019.
- [40] P. García Garrancho, “Manuel de uso de Radio Mobile,” p. 31, 2006, [Online]. Available: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6989/anexos/Anexo 16.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6989/anexos/Anexo%2016.pdf).
- [41] H. Durney, C. Castro, and R. Ortiz, “Diseño E Implementacion De Radioenlaces Y Estaciones Repetidoras Wi-Fi Para Conectividad De Escuelas Rurales En Zona Sur De Chile,” *J. Appl. Chem. Ussr*, vol. 53, no. 11, Apr. 20, 1981, pp. 1818–1822,

1981.

- [42] J. Esteban and T. Baena, “Caracterización de radioenlaces para interconectar el nuevo hospital de La Candelaria con sus puestos de salud en Purificación para el desarrollo de la telemedicina | Cuaderno Activa,” pp. 121–136, 2019, [Online]. Available: <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/579>.
- [43] G. G. Menendez, “Diseño de un sistema de radioenlace para comunicaciones en el ámbito industrial,” *Comun. en el entorno Ind.*, p. 369, 2003, [Online]. Available: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/81906/6/ggonzalezmeneTFG0618memoria.pdf>.
- [44] S. N. Manzano, “Implementación de una Red por Radioenlaces para proveer Servicio de Conectividad a Internet a Sedes Educativas Urbanas en la ciudad de Buga,” *Αγαη*, vol. 8, no. 5, p. 55, 2019.
- [45] S. Carchipulla and K. Mauricio, “Estudio e implementación de un radio enlace con tecnología Mikrotik para el I.S.P. JJSistemas en el cantón Gualaquiza, provincia Morona Santiago,” 2010.
- [46] Asamblea Nacional, *Ley Orgánica De Telecomunicaciones, 2015*, vol. Tercer Sup. 2015, pp. 1–40.
- [47] Consejo Nacional de Telecomunicaciones, *Proyecto de normas para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha*, no. March. 2005, pp. 25–27.
- [48] Consejo de Educación Superior, *Ley Organica De Educacion Superior, LOES*. 2018, pp. 1–58.
- [49] Propiedad Intelectual Registro Oficial No 320, *Ley de Propiedad Intelectual*, vol. 53, no. 9. 2019, pp. 1689–1699.
- [50] V. Muñoz, “Técnicas de investigación de campo I,” p. 69, 2002, [Online]. Available: [http://www.enba.sep.gob.mx/GOB/codes/guias/guias en pdf/investigacion de campo 6/investigacion de campo.pdf](http://www.enba.sep.gob.mx/GOB/codes/guias/guias%20en%20pdf/investigacion%20de%20campo%206/investigacion%20de%20campo.pdf).
- [51] T. Argilaga Anguera, “La Investigacion Cualitativa,” *Educar*, vol. 10, pp. 23–50, 1986.

- [52] A. P. Fernández and P. Díaz, “La investigación cualitativa y la investigación cuantitativa,” *Investig. Educ.*, vol. 7, no. 11, pp. 72–91, 2003.
- [53] J. Moreno Tapia, “Tipos de Investigación,” *Divulg. Boletín Científico la Esc. Super. Actopan*, vol. 1, no. 1, pp. 4–7, 2014, doi: 10.29057/esa.v1i1.1580.
- [54] M. Atasu, “Hereditary index finger polydactyly: phenotypic, radiological, dermatoglyphic, and genetic findings in a large family,” *J. Med. Genet.*, vol. 13, no. 6, pp. 469–476, 1976, doi: 10.1136/jmg.13.6.469.
- [55] A. Sans and L. R. B. Atenea Alonso Serrano, Lorena García Sanz, Irene León Rodrigo, Elisa García Gordo, Belén Gil Álvaro, “Métodos de investigación de enfoque experimental,” *Metodol. la Investig. Educ.*, pp. 167–193, 2012, [Online]. Available: <http://www.postgradoune.edu.pe/documentos/Experimental.pdf>.

# ANEXOS

## **Anexo 1. Cuestionario de preguntas para las encuestas al departamento de TI**

1. ¿Considera usted que en la actualidad el mundo está propenso a desastres naturales o accidentes que puedan dañar o interrumpir la comunicación en una infraestructura alámbrica?
2. ¿Cree usted que el medio inalámbrico es un medio importante de comunicación?
3. ¿Cree usted que hoy en día los medios inalámbricos se encuentran en un gran crecimiento tecnológico permitiendo una mejor comunicación?
4. En caso de utilizar el medio alámbrico como medio de comunicación. ¿Considera usted que es importante tener un medio de comunicación redundante como lo es el medio inalámbrico?
5. ¿Cree usted que el medio inalámbrico es un medio viable para comunicar un punto ubicado en una zona urbana con un punto ubicado en una zona rural?
6. ¿Considera usted que es seguro el envío de información a través de medios inalámbricos?
7. ¿Considera usted que se obtienen ventajas al utilizar medios inalámbricos como los radio enlaces a diferencia de los medios alámbricos utilizados comúnmente?
8. ¿Considera usted indispensable realizar un estudio para comprobar la viabilidad al momento de realizar un sistema de radio enlaces?
9. ¿Cree usted que es eficaz un sistema de radio enlaces para interconectar dos o más puntos en una ciudad?
10. ¿Considera usted que es costoso implementar un sistema de radio enlaces como medio de comunicación inalámbrico para conectar un punto que se encuentra ubicado en una zona urbana con uno ubicado en una zona rural?

## Anexo 2. Diseño experimental

Para realizar la simulación respectiva y el cálculo del *Link Budget*, primero fue necesario conocer toda la parte teórica y a su vez investigar las posibles frecuencias a utilizar, bien sea el caso de 2.4 GHz o 5 GHz. También se debió tener claro toda la terminología que se utiliza para los radios enlaces, incluyendo todas las características que posee un radio y las antenas para llevar a cabo la simulación y el diseño del sistema de radio enlaces.

Una vez estudiada toda la parte teórica, como primer paso se debió trasladar a ambos puntos que se desean conectar a través de esta simulación, en este caso, primero se trasladó al campus de Santa Cruz de la PUCESE ubicada en la zona urbana de la parroquia Esmeraldas y ubicarse en un punto alto y despejado para tomar la coordenada de referencia. Luego, se trasladó hacia el punto B, campus de Tachina, donde se tomó la coordenada correspondiente. En vista de que la montaña de Balcones de Tachina se interpone entre la vista de ambos campus, fue necesario trasladarse a un punto alto y despejado que sirva como repetidor, en este caso se presenta el mirador que se encuentra ubicado en el sector del Panecillo, de los cuales se obtuvieron las siguientes coordenadas:

Tabla 25. Coordenadas obtenidas para los enlaces de radio

Datos geográficos	Valores obtenidos
<b>Latitud del punto A</b>	0° 58' 18.5484"
<b>Longitud del punto A</b>	79° 39' 27.5191"
<b>Latitud del punto repetidor</b>	0° 59' 15.0036"
<b>Longitud del punto repetidor</b>	79° 39' 13.2635"
<b>Latitud del punto B</b>	0° 57' 07.4412"
<b>Longitud del punto B</b>	79° 37' 05.3795"

Luego de haber estudiado las frecuencias, y de determinar los factores ambientales y geográficos, se determinó con que equipos de radios y antenas realizar este estudio, para ello se obtuvieron los datos de las antenas y radios del *datasheet* de la marca de Ubiquiti como se muestra en la Tabla 26, en la que se obtuvieron las características y especificaciones de cada una de ellas para posteriormente ingresar estos valores en la herramienta a utilizar para desarrollar esta simulación y obtener los resultados de este estudio.

Tabla 26. Características del sistema de los enlaces de radio

Características del Sistema	Valores ingresados
<b>Potencia de los transmisores</b>	20 dBm
<b>Umbral del receptor</b>	-63 dBm
<b>Pérdida de la línea</b>	0,5 dB
<b>Ganancia de las antenas</b>	30 dBi
<b>Pérdida adicional de cable y conectores</b>	0 dB/m

Posteriormente de obtener todos estos datos, se realizó la respectiva simulación de la conexión de ambos puntos a través del software de Radio Mobile junto con la ayuda de Google Earth para la visualización de estos. Además, se realizó el cálculo del Link Budget en el que se determinó la viabilidad de los enlaces, cuyos valores obtenidos son los que se muestran en la Tabla 27 para el primer enlace:

Tabla 27. Link Budget del enlace entre el campus de Santa Cruz y el repetidor

Link Budget	Resultados obtenidos
<b>Lado de transmisión</b>	
<b>Potencia de transmisión</b>	20 dBm
<b>Pérdidas en el cable</b>	0,5 dB
<b>Ganancia de antena</b>	30 dBi
<b>Lado de propagación</b>	
<b>Espacio libre</b>	112,3 dB
<b>Pérdidas Adicionales</b>	6,1 dB
<b>Lado de recepción</b>	
<b>Ganancia de antena</b>	30 dBi
<b>Pérdidas en el cable</b>	0,5 dB
<b>Sensibilidad del receptor</b>	-63 dB
<b>Resultado del enlace</b>	
<b>Nivel de recepción</b>	-39,4 dBm
<b>Margen relativo</b>	23,6 dB

De igual manera se obtuvo los resultados correspondientes al Link Budget del segundo enlace que se presenta en la Tabla 28, lo que demostró la viabilidad de este segundo enlace.

Tabla 28. Link Budget del enlace entre el repetidor y el campus de Tachina

<i>Link Budget</i>	Resultados obtenidos
<b>Lado de transmisión</b>	
<b>Potencia de transmisión</b>	20 dBm
<b>Pérdidas en el cable</b>	0,5 dB
<b>Ganancia de antena</b>	30 dBi
<b>Lado de propagación</b>	
<b>Pérdidas en el espacio libre</b>	122,1 dB
<b>Pérdidas adicionales</b>	6,7 dB
<b>Lado de recepción</b>	
<b>Ganancia de antena</b>	30 dBi
<b>Pérdidas en el cable</b>	0,5 dB
<b>Sensibilidad del receptor</b>	-63 dB
<b>Resultado del enlace</b>	
<b>Nivel de recepción</b>	-49,8 dBm
<b>Margen relativo</b>	13,2 dB

En base a estos datos obtenidos, se determinó la viabilidad de ambos enlaces debido a que el nivel de recepción es mayor a la sensibilidad del receptor en ambos enlaces, garantizando un colchón fuerte en el que permita decaer la señal más no perderla por completo.

### Anexo 3. Puntos de referencia en el campus de Santa Cruz



**Frente a la capilla**



**Diagonal a la capilla**



**Encima de la zona residencial**



**Salón de baile**



**Terraza del edificio**

*Figura 52. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en el campus de Santa Cruz*

#### **Anexo 4. Puntos de referencia en el campus de Tachina**



**Edificio en construcción**



**Patio del campus**

*Figura 53. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en el campus de Tachina*

#### **Anexo 5. Puntos de referencia en Balcones de Tachina**



**Zona trasera de Balcones de Tachina**



**Zona trasera de Balcones de Tachina 2**



**Zona delantera de Balcones de Tachina**



**Torre de antenas en la zona delantera de Balcones de Tachina**

*Figura 54. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en el Balcones de Tachina*

## **Anexo 6. Puntos de referencia en la montaña frente al campus de Tachina**



**Zona de cultivos**



**Cima de la montaña**

*Figura 55. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en la montaña*

## **Anexo 7. Puntos de referencia en los cerros de Gatazo**



**Gatazo 1 - Torres de la radio la voz de su amigo**



**Gatazo 2 - Torre de Telecosta**

*Figura 56. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en los cerros de Gatazo*

## Anexo 8. Puntos de referencia en el barrio el Panecillo



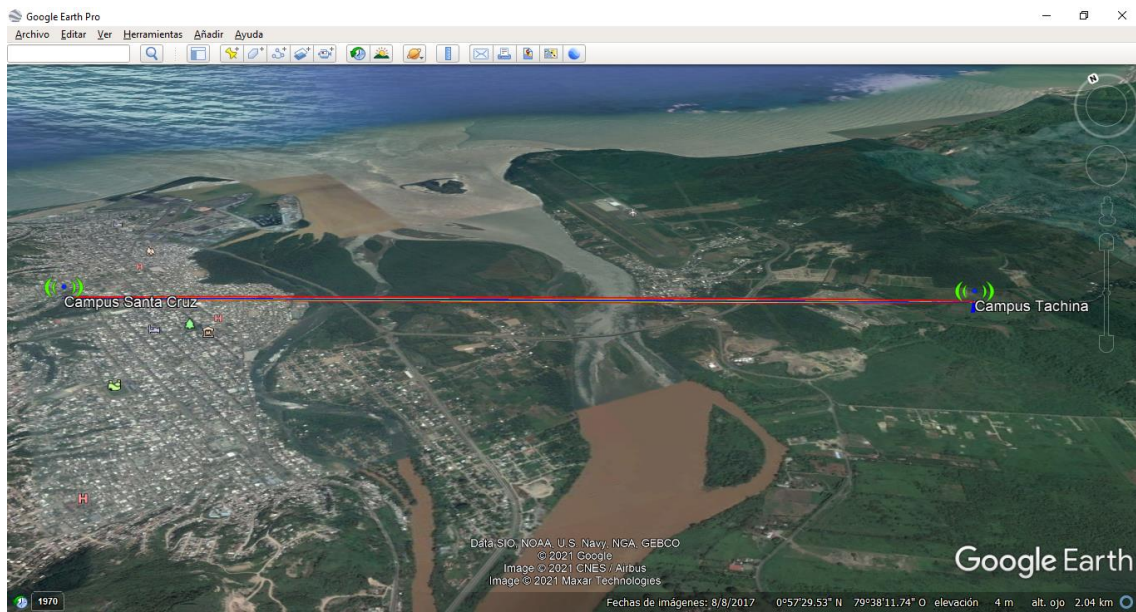
**Estudios de Telecosta**



**Mirador del Panecillo**

*Figura 57. Fotografías de las diferentes ubicaciones tomadas en el barrio el Panecillo*

## Anexo 9. Conexión para el caso 1.



*Figura 58. Conexión entre el campus de Santa Cruz y el campus de Tachina*

## Anexo 10. Conexión para el caso 2

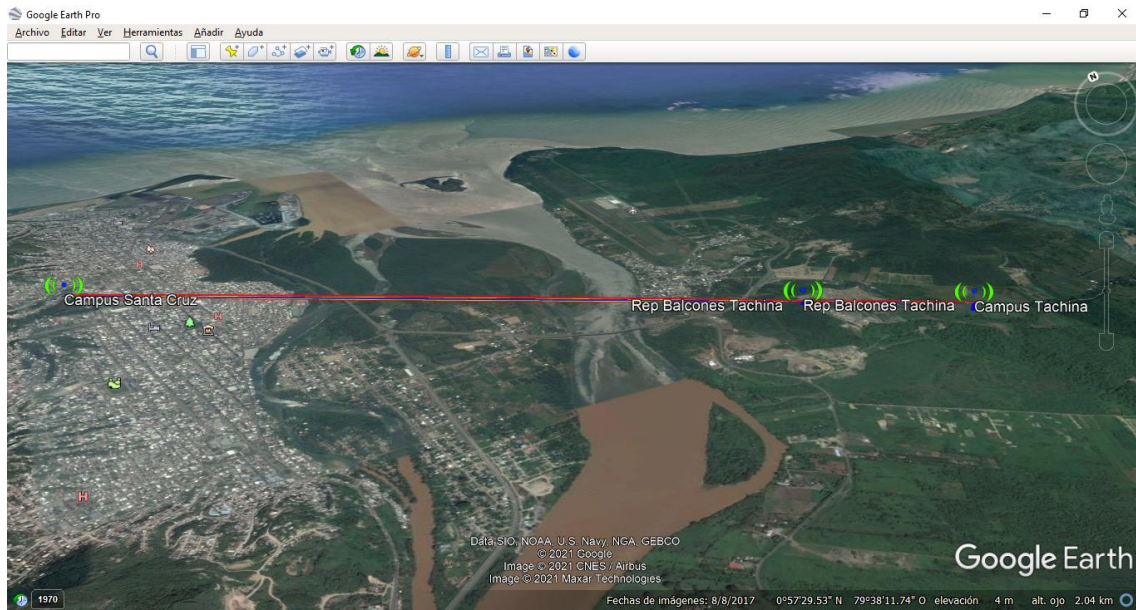


Figura 59. Conexión entre el campus de Santa Cruz, Balcones y el campus de Tachina

## Anexo 11. Conexión para el caso 3

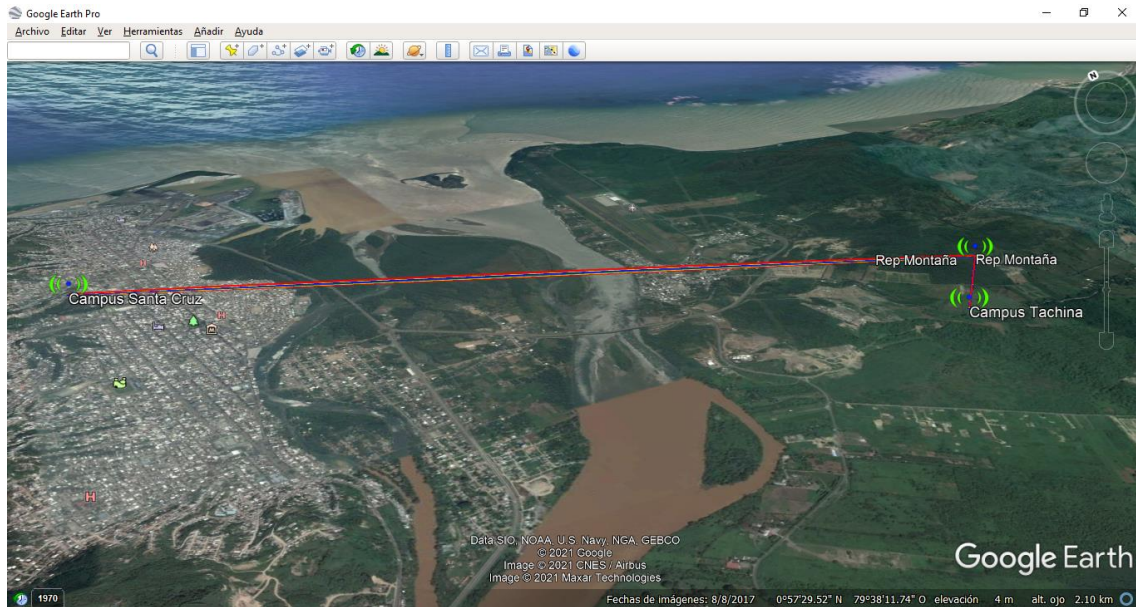


Figura 60. Conexión entre el campus de Santa Cruz, montaña y el campus de Tachina

## Anexo 12. Conexión para el caso 4

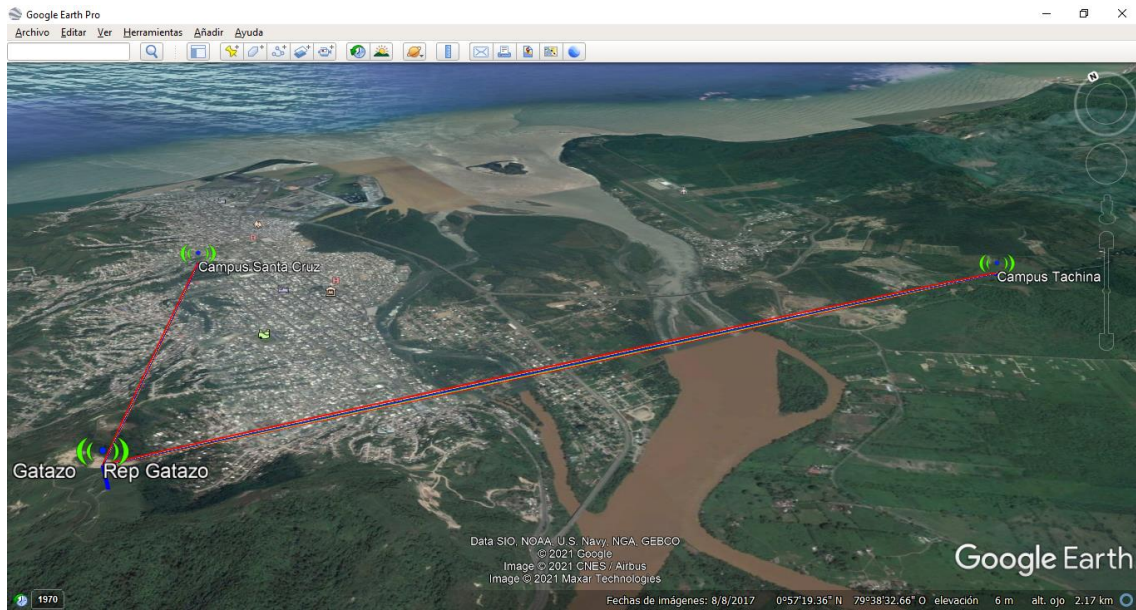


Figura 61. Conexión entre el campus de Santa Cruz, Gatazo y el campus de Tachina

## Anexo 13. Conexión para el caso 5

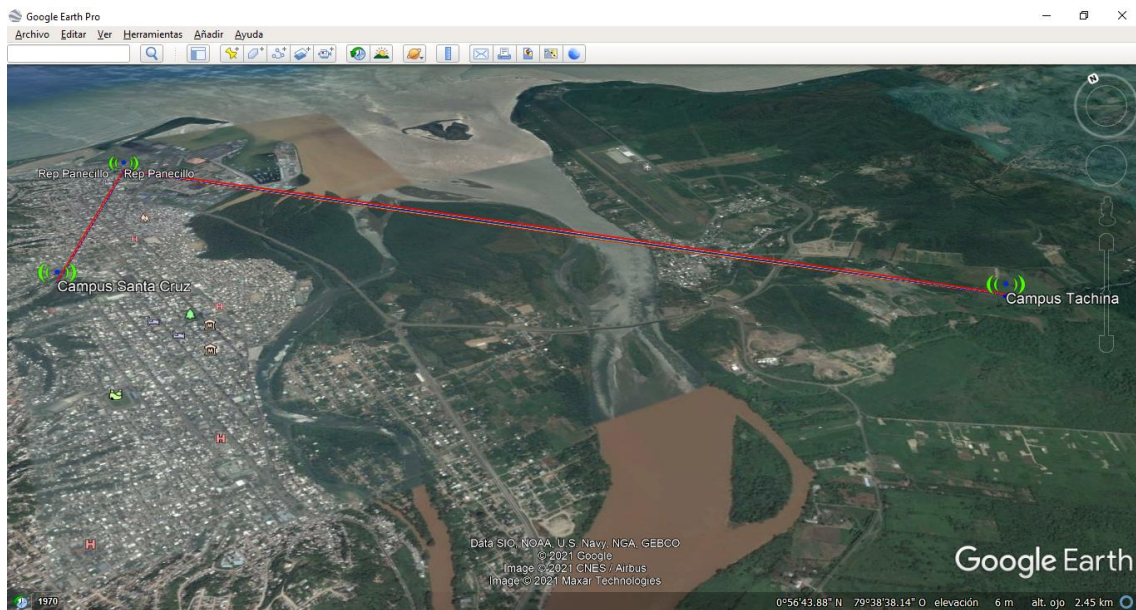


Figura 62. Conexión entre el campus de Santa Cruz, el Panecillo y el campus de Tachina