



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO.**

**TEMA:**

DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DE RADIOENLACES USANDO SDR COMO ANALIZADOR ESPECTRO.

**AUTORES:**

ALAN BERNARD CASQUETE RAMOS.

HENRY ALEXANDER DE LA CRUZ CUENCA.

**TUTOR:**

PhD. BREMNEN VÉLIZ NOBOA

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**2021**

## **Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación.**


Los conceptos utilizados, el desarrollo de la programación y las guías desarrolladas en el presente proyecto de titulación, así como la implementación y conclusiones de este, corresponden exclusivamente a Alan Bernard Casquete Ramos con cédula de identidad 0926357039 y Henry Alexander De La cruz Cuenca con cédula de identidad 0922034749 y el patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, agosto del 2021.



---

Alan Bernard Casquete Ramos  
C.I 0926357039



---

Henry Alexander De La Cruz Cuenca  
C.I.0922034749

## **Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación.**

A través del presente documento los abajo firmantes Alan Bernard Casquete Ramos con cédula de identidad 0926357039 y Henry Alexander De La Cruz Cuenca con cédula de identidad 0922034749, autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial del actual proyecto de titulación con el tema "Diseño de un módulo didáctico para el desarrollo de prácticas de laboratorio para el estudio de radioenlaces usando SDR como analizador de espectro".

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual Del Ecuador, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra anteriormente citada.


En concordancia, suscribo este documento en el momento que realice entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, agosto del 2021.



---

Alan Bernard Casquete Ramos  
C.I 0926357039



---

Henry Alexander De La Cruz Cuenca  
C.I.0922034749

### **Certificado de dirección del trabajo de titulación.**

Yo, Bremnen Véliz Noboa certifico que bajo mi dirección y asesoría el proyecto de titulación “**Diseño de un módulo didáctico para el desarrollo de prácticas de laboratorio para el estudio de radioenlaces usando SDR como analizador de espectro**”, realizado por el Sr. Alan Bernard Casquete Ramos y el Sr. Henry Alexander De La Cruz Cuenca para la obtención del título de: Ingeniería Electrónica.

Por medio de la presente certifico que el documento cumple con los requisitos establecidos en el Instructivo para el Estructura y Desarrollo de Trabajos de Titulación para pregrado de la Universidad Politécnica Salesiana.

En virtud de lo anterior, autorizo su presentación y aceptación como una obra auténtica y de valor académico.

Guayaquil, agosto del 2021.



---

Tutor del Trabajo de titulación  
Ing. Bremnen Véliz Noboa.  
C.I.:

### **Declaratoria de responsabilidad.**


Nosotros, Alan Bernard Casquete Ramos, con Cedula de Identidad N° 0926357039 y Henry Alexander De La Cruz Cuenca, portador de la Cedula de Identidad N° 0922034749, estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana con sede en guayaquil declaramos que la responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación corresponde exclusivamente y es propiedad intelectual de la universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, agosto del 2021.



---

Alan Bernard Casquete Ramos  
C.I 0926357039



---

Henry Alexander De La Cruz Cuenca  
C.I.0922034749

## **Dedicatoria.**

Quisiera dedicar este trabajo a tantas personas que han llenado mi vida de amor y de apoyo incondicional, en primer lugar, a mi madrecita bella que me guía desde el cielo a mi Mechita bella porque siempre me quisiste ver culminar y las vueltas de la vida no permitieron que estés conmigo celebrando este momento.

Le dedico este trabajo a mis padres Richard De La Cruz y María del Carmen Cuenca por ser mi apoyo y mi ejemplo, a mi hermano Richard De La Cruz por ser mi mejor amigo y un puntal importante en mi vida.

Y al final, pero no menos importante a mi amada esposa, mi compañera mi amiga y mi confidente Valeria Cifuentes y a mis hermosas hijas Sammy y Sabrina porque sin su amor esto no sería posible.

Henry Alexander De La Cruz Cuenca

## **Dedicatoria.**

Este proyecto de grado está dedicado a:

A mi madre Karina Ramos por todo su esfuerzo y paciencia, me ha servido de gran ayuda para poder cumplir en esta ocasión un sueño tan anhelado, doy las gracias por haber inculcado en mí ese gran ejemplo de esfuerzo, persistencia y valentía, para poder afrontar y resolver cualquier tipo de problemas y adversidades.

A mi padre Henry Casquete por haberme brindado la oportunidad de aprender una profesión en el campo laboral adquiriendo incalculable e invaluable experiencia y brindándome la oportunidad de contar con el privilegio del estudio, aprendiendo la teoría de las cosas. Siendo hoy los dos un equipo que complementa conocimientos.

A mi hermano Sebastián Casquete, para tomar el ejemplo y basado a mi experiencia, él poder tomar los buenos y malos eventos para usarlos a su favor, tampoco nunca dudar en preguntar si algún día hay dudas.

A toda mi familia por sus consejos y palabras de aliento, que lograron en mí hacer una mejor persona y acompañarme siempre en todo momento, así mismo por brindarme oportunidades de aplicar mi conocimiento y perfeccionarlo, complementando mi experiencia profesional.

Finalmente, a mis amigos que fueron parte de mi vida estudiantil que brindándonos el apoyo mutuamente logramos llegar a la meta que en un inicio parecía tan lejana y difícil de alcanzar al ver que poco a poco se reducía este círculo a medida que avanzábamos hacia nuestro objetivo final.

Alan Bernard Casquete Ramos

## **Agradecimiento.**

En el camino que todos nos trazamos siempre se debe empezar dando gracias a Dios quien guía cada uno de nuestros pasos y permite la culminación exitosa de esta etapa, Agradezco a mi esposa Valeria Cifuentes a mis hijas Sammy y Sabrina a toda mi querida familia De La Cruz empezando por los que ya partieron Lupito y Mechita, a mis ejemplos de toda la vida mi padre mis tíos Asunción, Cristian, Marlene, Carmita, Mary, Evita, Jacinto , Rosita, Alfredo, mi hermano y mis primos que siempre me han dado ánimos para continuar, a mi madre María del Carmen a mis abuelos Georgina y Felipe y al resto de mis familiares. Quiero agradecer de todo corazón a mis entrañables amigos: Iván, Alex, Joffre, Freddy, Susy, Christian, Leonardo, Jacinto, Luis, Henry, Xavier, Adriana, Jimmy, Paúl, Alan, Joselo, Kathy, Oscar, John, Blanquita, Ernesto, Cristopher por acompañarme en esta aventura y siempre impulsarme y no dejarme caer.

Henry Alexander De La Cruz Cuenca

## **Agradecimiento.**

Expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición y sabiduría siempre ha llenado de bendiciones a mí y toda mi familia presente.

Así mismo al cuerpo docente y directivo de la Carrera de Ingeniería Electrónica, por abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro del establecimiento educativo, en especial a los docentes que impartieron materias de especialización y brindaron tutorías en mi proyecto.

Alan Bernard Casquete Ramos.

## Resumen.

| Año  | Alumnos   | Director de proyecto  | Tema de proyecto de titulación   |
|------|---|-----------------------|--|
| 2021 | Alan Bernard<br>Casquete Ramos<br><br>Henry Alexander<br>De La Cruz<br>Cuenca | Bremnen Véliz<br>PhD. | Diseño de un módulo didáctico para el desarrollo de prácticas de laboratorio para el estudio de radioenlaces usando SDR como analizador de espectro. |

El objetivo principal de este trabajo de titulación es ofrecer en su conjunto una herramienta para complementar el aprendizaje en el campo de las radiocomunicaciones mediante un conjunto de prácticas diseñadas para que en sintonía con el conocimiento teórico brinden al estudiante de nuevas capacidades prácticas tanto en software de simulación como en equipos de uso actual en el campo laboral.

El programa actual no contempla este nexo entre la parte conceptual y la experimental, esta deficiencia puede servir para aprovechar la oportunidad y desarrollar un programa de prácticas para que el estudiante y el futuro profesional adquieran experticia en el manejo de equipos y software que de otra manera experimentarían en el ambiente de trabajo siendo en muchos casos la primera vez que se relacionaría con éstos, provocando que tenga mejores habilidades y capacidades que mejoren su perfil profesional.

Para lograr este cometido se ha contemplado el uso de GNU Radio y Radio Mobile como herramientas de simulación por tener las ventajas de uso generalizado y ser herramientas Open Source con el cual mediante sus bloques de programación se genera un analizador de espectro y de la misma forma el uso de equipos de radio enlace de actualidad para que la experiencia en el laboratorio brinde un acercamiento de primera mano al campo de profesionalización junto con Radio Mobile para establecer la comparación entre el enlace simulado y el enlace real dando una inducción en el uso de los equipos, modos de conexión, configuración de equipos y análisis a través de software de simulación.

El resultado es un programa de prácticas donde se combina la simulación y la implementación física a través de equipos modulares (juego de antenas direccionales, antena sectorial, equipo de transmisión) que pueden ser combinados con los equipos existentes en laboratorio, con lo cual tanto los estudiantes como los profesores del área encontrarán esta herramienta no solo innovadora sino útil para los fines pedagógicos impulsados por la carrera.

### Abstract.

| Year | Students  | Technical Project Manager | Item of Project of Titulation  |
|------|---|---------------------------|--|
| 2021 | Alan Bernard<br>Casquete Ramos<br><br>Henry Alexander<br>De La Cruz<br>Cuenca | Bremnen Véliz<br>PhD.     | Design of a didactic module for the development of laboratory practices for the study of radio links using SDR as a spectrum analyzer. |

The main objective of this degree work is to offer as a whole a tool to complement learning in the field of radiocommunications through a set of practices designed so that in tune with theoretical knowledge they provide the student with new practical skills both in simulation software and in equipment of current use in the labor field.

The current program does not contemplate this link between the conceptual and the experimental part, this deficiency can serve to take advantage of the opportunity and develop an internship program so that the student and the future professional acquire expertise in the management of equipment and software that would otherwise experience in the work environment being in many cases the first time that he would relate to them , causing him to have better skills and abilities that improve his professional profile.

To achieve this task, the use of GNU Radio and Radio Mobile has been considered as simulation tools because they have the advantages of widespread use and are Open Source tools with which through their programming blocks a spectrum analyzer is generated and in the same way the use of current radio link equipment so that the experience in the laboratory provides a first-hand approach to the field of professionalization together with Radio Mobile to establish the comparison between the simulated link and the actual link giving an induction in the use of the equipment, connection modes, equipment configuration and analysis through simulation software.

The result is a program of practices where simulation and physical implementation is combined through modular equipment (set of directional antennas, sectoral antenna, transmission equipment) that can be combined with existing equipment in the laboratory, with which both students and teachers in the area will find this tool not only innovative but useful for the pedagogical purposes driven by the career.

## Índice general.

|   |       |
|---|-------|
| Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación.....   | II    |
| Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación..... | III   |
| Certificado de dirección del trabajo de titulación.....                   | V     |
| Declaración de responsabilidad.....                                       | VI    |
| Dedicatoria Henry De La Cruz.....   | VII   |
| Dedicatoria Alan Casquete.....  | VIII  |
| Agradecimiento Henry De La Cruz.....                                      | IX    |
| Agradecimiento Alan Casquete.....   | X     |
| Resumen.....  | XI    |
| Abstract.....   | XII   |
| Índice general.....   | XIII  |
| Índice de tabla.....  | XVII  |
| Índice de figuras.....  | XVIII |
| Índice de anexos.....   | XX    |
| Introducción.....   | 21    |
| 1. Planteamiento del problema.....  | 22    |
| 1.1. Descripción del problema.....  | 22    |
| 1.2. Antecedentes.....  | 22    |
| 1.3. Importancia.....   | 23    |
| 1.4. Alcance.....   | 23    |
| 1.5. Delimitación.....  | 23    |
| 1.5.1. Espacial.....  | 23    |
| 1.5.2. Temporal.....  | 23    |
| 1.5.3. Académica.....   | 23    |
| 1.6. Explicación del problema.....  | 24    |
| 1.6.1. Causas del problema.....   | 24    |
| 1.7. Objetivos.....   | 24    |
| 1.7.1. Objetivo general.....  | 24    |
| 1.7.2. Objetivos específicos.....   | 25    |
| 2. Estado del arte.....   | 26    |
| 2.1. Fundamentos teóricos.....  | 26    |
| 2.2. Espectro electromagnético.....                                       | 26    |
| 2.3. Espectro radioeléctrico.....   | 26    |
| 2.4. Longitud de onda.....  | 27    |
| 2.5. Frecuencia.....  | 27    |
| 2.6. Bandas de frecuencia.....  | 27    |
| 2.7. Bandas de frecuencia no licenciadas.....                             | 28    |
| 2.8. Estándar inalámbrico 802.11 (Wi-Fi).....                             | 29    |
| 2.9. Canales de un sistema de comunicaciones.....                         | 29    |
| 2.10. Propiedades.....  | 29    |
| 2.10.1. Canales de radio.....   | 29    |
| 2.11. Propagación.....  | 30    |
| 2.12. Señales.....  | 30    |
| 2.13. Señales senoidales.....   | 30    |
| 2.13.1. Comportamiento de las ondas de radio.....                         | 30    |
| 2.13.2. Mayor alcance en ondas.....                                       | 31    |
| 2.13.3. Facilidad de rodear obstáculos.....                               | 31    |
| 2.13.4. Mayor transmisión de datos.....                                   | 31    |
| 2.14. Absorción.....  | 31    |
| 2.15. Modelos de propagación.....   | 33    |
| 2.15.1. Modelos matemáticos.....  | 33    |
| 2.15.2. Modelos empíricos.....  | 33    |
| 2.15.3. Modelos teóricos.....   | 33    |

|   |    |
|---|----|
| 2.15.4. Modelos deterministas.....                  | 33 |
| 2.15.5. Modelos estocásticos.....                   | 33 |
| 2.15.6. Modelo de Longley-Rice.....                 | 34 |
| 2.16. Ancho de banda.....                           | 34 |
| 2.17. Sistema electrónico de comunicaciones.....    | 34 |
| 2.18. Modos de transmisión.....                     | 35 |
| 2.18.1. Símplex.....                                | 35 |
| 2.18.2. Semidúplex.....                             | 35 |
| 2.18.3. Dúplex.....                                 | 35 |
| 2.18.4. Full Dúplex.....                            | 35 |
| 2.19. Ruido.....                                    | 35 |
| 2.19.1. Ruido correlacionado.....                   | 36 |
| 2.19.1.1 Distorsión armónica.....                   | 35 |
| 2.19.1.2 Distorsión por intermodulación.....        | 35 |
| 2.19.2. Ruido no correlacionado.....                | 36 |
| 2.19.2.1 Ruido externo.....                         | 36 |
| 2.19.2.2 Ruido atmosférico.....                     | 36 |
| 2.19.2.3 Ruido extraterrestre.....                  | 35 |
| 2.19.2.4 Ruido artificial.....                      | 35 |
| 2.19.3. Ruido interno.....                          | 37 |
| 2.19.3.1 Ruido de disparo.....                      | 37 |
| 2.19.3.2 Ruido de tiempo de tránsito.....           | 37 |
| 2.19.3.3 Ruido térmico.....                         | 37 |
| 2.20. Interferencia.....                            | 38 |
| 2.21. Relación de potencia de señal a ruido.....    | 38 |
| 2.22. Atenuación.....                               | 39 |
| 2.23. Radioenlace.....                              | 39 |
| 2.24. Importancia de los radioenlaces.....          | 39 |
| 2.25. Tipos de radioenlace.....                     | 39 |
| 2.25.1. Enlace punto a punto.....                   | 39 |
| 2.25.2. Enlace punto a multipunto.....              | 40 |
| 2.26. Ventajas de los radioenlaces.....             | 41 |
| 2.27. Zona de Fresnel.....                          | 42 |
| 2.28. Parámetros de antenas.....                    | 42 |
| 2.28.1. Vector de Poynting.....                     | 42 |
| 2.28.2. Resistencia de radiación.....               | 43 |
| 2.28.3. Patrón de radiación.....                    | 43 |
| 2.28.4. Intensidad de radiación.....                | 43 |
| 2.28.5. Directividad de una antena.....             | 44 |
| 2.28.6. Impedancia de una antena.....               | 47 |
| 2.28.7. ROE, VSWR.....                              | 47 |
| 2.28.8. PR, RL.....                                 | 48 |
| 2.28.9. Ganancia de una antena.....                 | 48 |
| 2.29. PIRE.....                                     | 49 |
| 2.30. Pérdidas en el espacio libre.....             | 50 |
| 2.31. Ancho de haz a 3Db.....                       | 50 |
| 2.32. Antenas en la recepción.....                  | 51 |
| 2.33. Reciprocidad.....                             | 51 |
| 2.34. Impedancia en la recepción.....               | 52 |
| 2.35. Igualdad de los patrones de radiación.....    | 53 |
| 2.36. Igualdad del patrón de radiación.....         | 54 |
| 2.37. Parámetros de una antena en la recepción..... | 55 |
| 2.37.1. Longitud efectiva.....                      | 55 |
| 2.37.2. Área efectiva.....                          | 56 |
| 2.37.3. Factor de antena.....                       | 58 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 2.38.    | Polarización.....   | 58  |
| 2.39.    | Componentes electrónicos de un sistema inalámbrico.....                                 | 60  |
| 2.39.1.  | Estación base.....  | 60  |
| 2.39.2.  | Cables y conectores.....  | 60  |
| 2.39.3.  | Unidad de radiofrecuencia (RFU).....  | 61  |
| 2.39.4.  | Power over ethernet (PoE).....  | 62  |
| 2.39.5.  | Sistema de antenas.....   | 62  |
| 2.39.6.  | Tipos de antenas.....   | 64  |
| 2.39.6.1 | Antenas sectoriales.....  | 64  |
| 2.39.6.2 | Antenas omnidireccionales.....  | 64  |
| 2.39.6.3 | Antenas parabólicas.....  | 644 |
| 2.39.6.4 | Antenas de panel.....   | 645 |
| 2.40.    | Estación de equipo local de cliente (CPE).....  | 67  |
| 2.41.    | Emisiones radioeléctricas.....  | 67  |
| 2.42.    | Organismos de estandarización.....  | 67  |
| 3.       | Marco metodológico.....   | 69  |
| 3.1.     | Metodología experimental.....   | 69  |
| 3.2.     | Investigación de campo.....   | 69  |
| 3.3.     | Procedimiento del proyecto.....   | 69  |
| 3.4.     | Primera etapa (investigación inicial del proyecto).....                                 | 71  |
| 3.5.     | Segunda etapa (estudio de hardware adecuado para utilizar en las prácticas).....        | 71  |
| 3.6.     | Tercera etapa (estudio de software de simulación).....                                  | 71  |
| 3.7.     | Cuarta etapa (diseño de las prácticas de laboratorio y pruebas).....                    | 71  |
| 4.       | Resultados.....   | 73  |
| 4.1.     | Prácticas propuestas.....   | 77  |
| 4.1.1.   | Práctica 1. Introducción a la programación de dispositivos SDR y GNU Radio.....         | 77  |
| 4.1.2.   | Objetivo general.....   | 77  |
| 4.1.3.   | Objetivos específicos.....  | 77  |
| 4.2.     | Práctica 2. Diseño e implementación de un analizador de espectro usando GNU Radio.....  | 77  |
| 4.2.1.   | Objetivo general.....   | 77  |
| 4.2.2.   | Objetivos específicos.....  | 77  |
| 4.3.     | Práctica 3. Introducción a simulación para enlaces inalámbricos en Radio Mobile.....    | 78  |
| 4.3.1.   | Objetivo general.....   | 78  |
| 4.3.2.   | Objetivos específicos.....  | 78  |
| 4.4.     | Práctica 4. Simulación enlaces punto – punto y punto – multipunto.....                  | 78  |
| 4.4.1.   | Objetivo general.....   | 78  |
| 4.4.2.   | Objetivos específicos.....  | 78  |
| 4.5.     | Práctica 5. Introducción al manejo de equipos de radioenlace.....                       | 79  |
| 4.5.1.   | Objetivo general.....   | 79  |
| 4.5.2.   | Objetivos específicos.....  | 79  |
| 4.6.     | Práctica 6. Implementación de enlace punto - punto con antenas a 5 GHz.....             | 79  |
| 4.6.1.   | Objetivo general.....   | 79  |
| 4.6.2.   | Objetivos específicos.....  | 79  |
| 4.7.     | Práctica 7. Implementación de enlace punto - multipunto con antenas a 5 GHz.....        | 80  |
| 4.7.1.   | Objetivo general.....   | 80  |
| 4.7.2.   | Objetivos específicos.....  | 80  |
| 5.       | Análisis de resultados.....   | 81  |
| 5.1.     | Analizar el software de simulación de radioenlaces para el desarrollo de prácticas..... | 81  |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 5.2.     | Desarrollar un sistema de prácticas dentro del cual se establezca la relación entre el estudio teórico, la simulación y el desarrollo práctico..... | 83  |
| 5.3.     | Diseñar módulo didáctico para el estudio de sistemas de radioenlace para el uso de los estudiantes y docentes. ....                                 | 87  |
| 5.4.     | Diseñar un analizador de espectro usando SDR y software de simulación (GNU Radio). ....   | 88  |
| 6.       | Conclusiones.....   | 92  |
| 7.       | Recomendaciones.....  | 93  |
| 8.       | Referencias Bibliográficas .....  | 94  |
| ANEXO A. | .....   | 95  |
| ANEXO B. | .....   | 96  |
| ANEXO C. | .....   | 100 |
| ANEXO D. | .....   | 101 |

## Índice de tabla.

|  |    |
|--|----|
| Tabla 2.1 Bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico. .... | 28 |
| Tabla 2.2 Tabla comparativa de tipos de antena.....              | 66 |
| Tabla 3 Presupuesto de equipos. ....                             | 95 |

## Índice de figuras.

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1. Frecuencias del espectro electromagnético .....  | 26 |
| Figura 2.2. Canales de radio .....   | 30 |
| Figura 2.3. Efectos del ruido sobre una señal .....  | 36 |
| Figura 2.4. Enlace punto a punto .....   | 40 |
| Figura 2.5. Enlace punto a multipunto .....  | 41 |
| Figura 2.6. Representación gráfica de la Zona de Fresnel .....   | 42 |
| Figura 2.7. Diagrama de radiación de la antena isotrópica en a) 3D, b) vista del plano horizontal y c) vista del plano vertical .....  | 45 |
| Figura 2.8. Diagrama de radiación de la antena dipolo elemental en a) 3D, b) vista del plano horizontal y c) vista del plano vertical. En líneas punteadas aparece el diagrama de radiación de la antena Isotrópica..... | 46 |
| Figura 2.9. Patrón de radiación de la antena dipolo elemental en coordenadas cartesianas en función de la elevación .....  | 46 |
| Figura 2.10. Circuito equivalente de una antena .....  | 47 |
| Figura 2.11. ROE/VSWR de una antena omnidireccional para bandas GSM (890 – 960 MHz) .....  | 48 |
| Figura 2.12 Ancho de haz a 3dB para una antena dipolo ideal .....  | 51 |
| Figura 2.13. Esquema de transmisión – propagación – recepción .....  | 51 |
| Figura 2.14. Esquema eléctrico de antenas transmisora a receptora y canal .....  | 52 |
| Figura 2.15. Esquema eléctrico de antenas receptora – canal – transmisora. ....  | 52 |
| Figura 2.16. Circuito equivalente de Thevening de la antena de recepción.....  | 53 |
| Figura 2.17. Representación gráfica de medición del diagrama de radiación.....   | 53 |
| Figura 2.18. Representación gráfica de medición del diagrama de radiación en la recepción.....   | 54 |
| Figura 2.19. Representación gráfica de una antena equivalente con longitud efectiva en transmisión. ....   | 56 |
| Figura 2.20. Orientación de antenas.....   | 56 |
| Figura 2.21. Dibujo representativo para cálculo de área efectiva.....  | 57 |
| Figura 2.22. Propagación de una onda con componentes en $\theta$ y $\Phi$ .....  | 59 |
| Figura 2.23. Tipos de polarización: a) lineal vertical, b) circular, c) elipsoidal.....  | 59 |
| Figura 2.24. Representación gráfica de un cable coaxial. ....  | 60 |
| Figura 2.25. Tipos de conectores para cable coaxial. ....  | 61 |
| Figura 22.6. Cable UTP cat. 6 Siemon.....  | 61 |
| Figura 2.27. UBNT Rocket M5.....   | 62 |
| Figura 2.28. Ejemplo de conexión para PoE.....   | 62 |
| Figura 2.29. Tipos comunes de antenas.....   | 63 |
| Figura 2.30. Lóbulo principal de propagación de antena.....  | 63 |
| Figura 2.31. Diagrama Polar antena sectorial 120°.....   | 64 |
| Figura 2.32. Diagrama Polar antena omnidireccional.....  | 65 |
| Figura 2.33. Diagramas antena direccional .....  | 66 |
| Figura 2.34. Ejemplo equipo CPE con antena de panel integrada .....  | 67 |
| Figura 3.1. Diagrama de bloques.....   | 70 |
| Figura 3.2. Diagrama de conexión hardware – software. ....   | 70 |
| Figura 3.3. Diagrama de conexión hardware – software integrado.....  | 72 |
| Figura 4.1. Analizador de espectro 5Ghz con enlace multipunto activo. ....   | 73 |
| Figura 4.2. Analizador de espectro banda FM 88.9 MHz. ....   | 74 |
| Figura 4.3. Analizador de espectro 2.4 GHz. ....   | 74 |
| Figura 4.4. Prueba de práctica de simulación de enlace en Radio Mobile entre estación 4 mosqueteros y estación Durán. ....   | 75 |
| Figura 4.5. Enlace establecido revisado desde la herramienta de ubiquti. ....  | 76 |
| Figura. 4.6. Pruebas de ping entre las antenas ubicadas en aerovía. ....   | 76 |
| Figura 5.1. Ejecución del analizador de espectro GNU Radio.....  | 81 |
| Figura 5.2. Resultado de simulación Radio Mobile. ....   | 82 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 5.3. Distancia del enlace punto a punto simulación.....                | 82 |
| Figura 5.4. Ejecución en GQRX de analizador de espectro en banda FM.....      | 83 |
| Figura 5.5. Ejecución del analizador de espectro GNU Radio.....               | 84 |
| Figura 5.6. Configuración de bloques en GNU Radio. ....                       | 84 |
| Figura. 5.7 Simulación en Radio Mobile.....                                   | 85 |
| Figura. 5.8 Enlace establecido revisado desde la herramienta de Ubiquiti..... | 85 |
| Figura 5.9. Instalación de equipos en estación 4 mosqueteros aerovía. ....    | 87 |
| Figura 5.10. Instalación de equipos en estación Durán aerovía. ....           | 88 |
| Figura 5.11. Diagrama de conexión para el analizador de espectro.....         | 89 |
| Figura 5.12. Diagrama de bloques del analizador de espectro.....              | 90 |
| Figura 5.13. Programación en GNU Radio y pruebas con USRP B 205 mini. ....    | 90 |
| Figura 5.14. Analizador de espectro. ....                                     | 91 |

## Índice de anexos.

|              |     |
|--------------|-----|
| ANEXO A..... | 95  |
| ANEXO B..... | 96  |
| ANEXO C..... | 100 |
| ANEXO D..... | 101 |

## **Introducción.**

Un problema de los futuros ingenieros con mención en Telecomunicaciones es la falta de capacidades prácticas y esto se debe en gran medida a que no hay dentro del currículum académico programas de prácticas para materias de especialización como antenas, propagación o redes inalámbricas, los estudiantes llegan al campo laboral sin tener algunas habilidades que son necesarias. Se puede aprovechar la infraestructura de los laboratorios y equipos adquiridos, pero se necesita un programa de prácticas de laboratorio que permita potenciar las habilidades del estudiante.

Se plantea un programa de prácticas que en conjunto de equipos usados de forma modular forman una estructura didáctica para el aprendizaje de las radiocomunicaciones, donde se plantea un analizador de espectro implementado en GNU Radio, prácticas de simulación de radioenlaces en Radio Mobile y prácticas de implementación de enlaces punto a punto y punto multipunto donde se induce al estudiante el uso de software de simulación especializado en radioenlaces, además de darle capacidades técnicas en la conexión, uso apropiado de equipos, recomendaciones técnicas y esquemas de conexión que permiten integrarse con el programa curricular teórico.

La redacción del presente documento se da en el siguiente orden: con el primer capítulo se indaga acerca del problema planteado en este trabajo de titulación. En el segundo capítulo se muestra el estado del arte donde se hace énfasis en los sistemas de radioenlaces. Del capítulo 3 se infiere el marco metodológico, se explica la forma en la cual se realiza la investigación. En el capítulo 4 se muestran los resultados del trabajo realizado como por ejemplo el esquemático de las prácticas. Finalmente, en el capítulo 5 trata acerca del análisis de los resultados obtenidos, así como sus conclusiones y recomendaciones. Como parte de los anexos del trabajo se entrega un manual de siete prácticas de laboratorio.

## **Planteamiento del problema.**

### **1.1. Descripción del problema.**

El avance de la tecnología y su rápida aplicación en el campo laboral hace que los centros universitarios estén actualizando métodos y mejorando sus programas de estudio para ir a la par de esta innovación en el mercado, pero, aunque los contenidos teóricos de la materia son la base principal sobre la que se asienta el conocimiento general en múltiples ocasiones los profesionales se topan por primera vez con equipos de tecnología durante el desempeño profesional. Uno de los principales problemas en la formación de los ingenieros en electrónica con énfasis telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil es la poca práctica existente en los sistemas inalámbricos específicamente en materias de especialización como propagación, antenas y redes inalámbricas esto crea una brecha en el aprendizaje al no poder complementar la teoría debe con la práctica ya que en el campo laboral se necesita tener conocimientos prácticos para efectuar tareas de implementación de sistemas, resolución problemas, creación de sistemas de respaldo, etc.

### **1.2. Antecedentes.**

La Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil es la sede más joven de este instituto de educación superior, y como tal sigue en franco desarrollo de una malla curricular acorde a la realidad nacional y a las estrategias del estado que promueven un desarrollo de ofertas académicas que estén enfocadas en impulsar a la sociedad en su conjunto, de esta forma logrando articular a la academia con la sociedad.

En esa búsqueda incesante de mejorar la oferta académica y de posicionarse como un centro educativo de excelencia a nivel nacional y regional está en la búsqueda de implementar programas que mejoren la excelencia educativa dando al estudiante la capacidad de enfrentarse en las aulas y laboratorios a las tecnologías y equipos con los cuáles se desempeñará en el ámbito profesional y es aquí donde debido al continuo avance de la tecnología genera la necesidad de ampliar e incrementar la base de herramientas teórico-prácticas para proveer a la sociedad Ingenieros actualizados y listos para unirse a la matriz productiva del país.

La materia de propagación forma parte del conjunto de contenido que se brindan a los estudiantes que escogen la mención de telecomunicaciones en la carrera de Ingeniería Electrónica, al día de hoy no es suficiente con impartir la materia únicamente de forma teórica, es una necesidad insalvable complementar los conocimientos con el manejo de distintas herramientas desarrolladas para el aprendizaje y para dar soluciones del campo laboral.

El estudio de los sistemas radioeléctricos en la actualidad forma parte fundamental de las capacidades integrales de los programas de Ingeniería en Telecomunicaciones debido a que dentro del perfil profesional el ingeniero debe

ser capaz de entender, solventar y diseñar estos sistemas para proveer soluciones tanto a la industria como al campo de las comunicaciones.

### **1.3. Importancia.**

Este trabajo pretende generar y reforzar los conocimientos teórico-prácticos sobre la propagación de ondas electromagnéticas para la transmisión de información y comunicación, a través del espacio libre y dotarlo de experticia en el uso de equipos que se encuentra en el campo profesional.

### **1.4. Alcance.**

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo la elaboración de un manual de siete prácticas de laboratorio para complementar el aprendizaje teórico obtenido en la materia de propagación con el uso de equipos y software de simulación ( Radio Mobile y GNU Radio) para lograr un acercamiento al campo laboral e intensificar las habilidades de los futuros profesionales, dentro de un ambiente de laboratorio donde el estudiante a través de la experimentación podrá verificar el conocimiento teórico al realizar un programa de prácticas.

### **1.5. Delimitación.**

#### **1.5.1. Espacial.**

Este trabajo tiene como ubicación final el laboratorio de telecomunicaciones, en el 4to piso del nuevo edificio E, dedicado para laboratorios.

En el marco de la actual emergencia sanitaria el proyecto se está desarrollando en los domicilios acatando las disposiciones del COE Nacional.

#### **1.5.2. Temporal.**

Se tiene previsto que la investigación y ejecución del proyecto dure desde noviembre de 2019 hasta julio de 2021.

#### **1.5.3. Académica.**

En este trabajo se pondrá en práctica conocimientos adquiridos durante el periodo de formación como Ingeniero Electrónico con mención Telecomunicaciones en la UPS-G, dando énfasis a temas relacionados con el estudio de la propagación de ondas electromagnéticas para comunicaciones inalámbricas.

## **1.6. Explicación del problema.**

### **1.6.1. Causas del problema.**

Las telecomunicaciones forman parte del conjunto de la tecnología, por consiguiente, están dentro de un mundo exigente de constante investigación, innovación y desarrollo que conlleva la mejora y aumento de la eficiencia en prácticas, métodos, técnicas de acceso, protocolos y seguridad. En este sentido se ha determinado tres posibles causas del problema:

1. La materia de propagación no posee un manual de prácticas de talleres en clase para estudio de las ondas electromagnéticas, simulación e implementación de radioenlaces.
2. El laboratorio de telecomunicaciones no cuenta con software dedicado para la simulación de radioenlaces en zonas geográficas reales.
3. El laboratorio de telecomunicaciones no cuenta con la cantidad de equipos necesaria para la implementación de radioenlaces dentro del perímetro de la Sede Guayaquil.
4. Los equipos que se necesitan para el estudio del espectro generalmente son muy costosos y no son siempre bien aprovechados.

La primera causa se debe a que en ocasiones el centrarse únicamente en impartir los conocimientos necesarios y actualizados no es suficiente para una carrera que es demandante en el ejercicio práctico para soluciones en el mundo laboral.

La segunda causa va ligada con los implementos del laboratorio de telecomunicaciones cuentan con una cantidad limitada de programas imprescindibles para el estudio de las telecomunicaciones, pero todo está sujeto a mejorar detalles como software de simulación de radioenlaces, y estudio de las ondas electromagnéticas.

La tercera causa hallada, es debido a que la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil se encuentra aún en crecimiento a nivel estructural, por tanto, existe la posibilidad de mejora en temas como compras de equipos para laboratorios y la carrera de Electrónica mención Telecomunicaciones siente mucho esa falta debido a que docentes y alumnos lo consideran indispensable.

## **1.7. Objetivos.**

### **1.7.1. Objetivo general.**

Diseñar un módulo didáctico para el desarrollo de prácticas de laboratorio para el estudio de radioenlaces usando SDR como analizador de espectro.

### **1.7.2. Objetivos específicos.**

- Analizar el software de simulación de radioenlaces para el desarrollo de prácticas.
- Desarrollar un sistema de prácticas dentro del cual se establezca la relación entre el estudio teórico, la simulación y el desarrollo práctico.
- Diseñar módulo didáctico para el estudio de sistemas de radioenlace para el uso de los estudiantes y docentes.
- Diseñar un analizador de espectro usando SDR y software de simulación (GNU Radio).

## Estado del arte.

### 2.1. Fundamentos teóricos.

En esta sección se detalla el estado del arte con respecto a las ondas electromagnéticas sistemas de radioenlace. Comenzando con la definición de las ondas electromagnéticas, frecuencia, grupos de frecuencias más utilizadas, ente regulador en el país. A continuación, se especifica el concepto de sistemas de comunicaciones electrónicas, radioenlace, los distintos tipos de enlaces inalámbricos existentes, sus aplicaciones, ente regulador en el país.

### 2.2. Espectro electromagnético.

La finalidad de un sistema electrónico de comunicaciones es transmitir información entre al menos dos estaciones, objetivo que se alcanza haciendo una conversión de la información a energía para poder ser enviada, donde en los puntos finales se hace el proceso inverso a la codificación.

El espectro electromagnético comprende un muy amplio conjunto de frecuencias que va mucho más allá de lo que podemos ver [1].

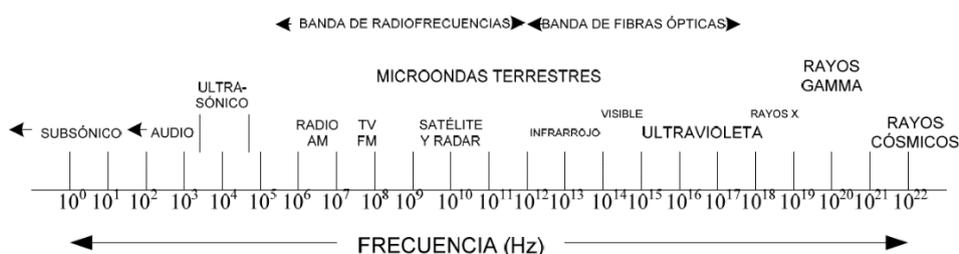


Figura 2.1. Frecuencias del espectro electromagnético [2].

### 2.3. Espectro radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico es el grupo de frecuencias utilizadas por el ser humano para comunicarse, se encuentran convencionalmente por debajo de los 300 GHz, son capaces de propagarse sin necesidad de una guía artificial.

Este segmento del espectro electromagnético fue concebido inicialmente como una idea matemática, hoy en día utilizado como un medio de transmisión, con diversos elementos y circuitos electrónicos para lograr el transporte de energía para enviar y recibir mensajes de cualquier índole, prácticamente a cualquier distancia entre n estaciones involucradas en la comunicación, como mínimo 2, utilizando un mecanismo de propagación de ondas electromagnéticas, para evitar el uso de guías artificiales.

El espectro radioeléctrico es considerado un recurso natural, limitado y medible, a pesar de que se han inventado distintas técnicas para flexibilizarlo y maximizar su uso [3].

## 2.4. Longitud de onda.

Es comprendido como la distancia que ocupa el ciclo completo de una onda electromagnética, este valor varía inversamente proporcional a la frecuencia de la onda, es decir, a mayor frecuencia, menor longitud de onda, y viceversa, por otro lado, es directamente proporcional a su velocidad de propagación, su expresión matemática es: [1]

$$\lambda = c/f$$

Donde:

Lamda = longitud de onda  
c = velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/s)  
f = frecuencia (Hertz)

## 2.5. Frecuencia.

En el campo de las telecomunicaciones para precisar una onda electromagnética se hace referencia a la frecuencia, es la característica principal de las OEM.

La frecuencia se define como la cantidad de veces que se repite un mismo evento en un periodo de tiempo, como el ciclo completo de una onda senoidal, ya sea esta de voltaje o de corriente, cada inversión completa de la onda se la denomina un ciclo.

La frecuencia tiene una unidad de medida y se la conoce como Hertz (Hz) y 1 Hz es igual a 1 ciclo por segundo, y como en las matemáticas es común utilizar prefijos para representar cantidades grandes de cierta unidad, también es aplicable con los Hertz, como la frecuencia tan conocida de wi-fi, que es 2.4GHz, equivalente a  $2.4 \times 10^9$  Hz, es decir que la onda senoidal se ha repetido 2.4 miles de millones de veces en 1 segundo [2].

## 2.6. Bandas de frecuencia.

El espectro, precisamente el radioeléctrico se divide en secciones, comúnmente conocidas como bandas de frecuencias, como es de suponer, tienen nombres y están delimitadas, al igual que otras medidas matemáticas, estas denominaciones son utilizadas a nivel mundial.

Tabla 2.1 Bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico [4, 5].

| Nombre                        | Abreviatura | Banda     | Frecuencias               | Longitud onda       |
|-------------------------------|-------------|-----------|---------------------------|---------------------|
| Frecuencia Tremendamente Baja | TLF         | No aplica | Inferior a 3 Hz           | >100 000 Km         |
| Extra Baja Frecuencia         | ELF         | 1         | 3 – 30 Hz                 | 100 000 – 10 000 Km |
| Super Baja Frecuencia         | SLF         | 2         | 30 – 300 Hz               | 10 000 – 1000 Km    |
| Ultra Baja Frecuencia         | ULF         | 3         | 300 – 3000 Hz             | 1000 – 100 Km       |
| Muy Baja Frecuencia           | VLF         | 4         | 3 – 30 KHz                | 100 – 10 Km         |
| Baja Frecuencia               | LF          | 5         | 30 – 300 KHz              | 10 – 1 Km           |
| Media Frecuencia              | MF          | 6         | 300 – 3000 KHz            | 1000 – 100 m        |
| Alta Frecuencia               | HF          | 7         | 3 – 30 MHz                | 100 – 10 m          |
| Muy Alta Frecuencia           | VHF         | 8         | 30 – 300 MHz              | 10 – 1 m            |
| Ultra Alta Frecuencia         | ULF         | 9         | 300 – 3000 MHz            | 1 m – 100 mm        |
| Super Alta Frecuencia         | SHF         | 10        | 3 – 30 GHz                | 100 – 10 mm         |
| Extra Alta Frecuencia         | EHF         | 11        | 30 – 300 GHz              | 10 – 1 mm           |
|                               |             |           | Por encima de los 300 GHz | < 1 mm              |

## 2.7. Bandas de frecuencia no licenciadas.

Las frecuencias no licenciadas están libres para el uso en redes de área local (WLAN) aunque varían de región en región. Cabe recalcar que en estas bandas de frecuencias libres operan varios protocolos simultáneamente [5].

## **2.8. Estándar inalámbrico 802.11 (Wi-Fi).**

Este protocolo fue creado en 1997 por la IEEE, enfocado en la utilización de los dos niveles más bajos del modelo OSI, estas capas son la física y enlace, admite inicialmente velocidades entre 1 Mbps, hasta 2 Mbps, operando en la banda de frecuencias de 2412 MHz hasta 2484 MHz. A partir de la implementación de este estándar, se ha ido mejorando o continuamente, como lo son los estándares 802.11 a, b, g, n, ac. El estándar 802.11a trabaja en cambio en la banda de frecuencias de 5 GHz, otra banda de frecuencias no licenciadas [5].

## **2.9. Canales de un sistema de comunicaciones.**

Se estudia el trayecto de distintos puntos entre el transmisor y el receptor de un sistema de comunicaciones inalámbrico y sus propiedades:

### **2.10. Propiedades.**

- **Lineal:** La señal que percibe el receptor es una suma de distintas versiones retrasadas, atenuadas o amplificadas de la señal transmitida, se considera no lineal si por ejemplo si se amplifica con un dispositivo cercano a la saturación.
- **Recíproco:** Se considera recíproco si las propiedades del canal son las mismas en ambos puntos al transmitir la señal.
- **Invariante en el tiempo:** Si las características del canal no cambian con el transcurso del tiempo.

#### **2.10.1. Canales de radio.**

- **Canal de propagación:** Comprende el trayecto de las antenas sin incluirlas, es decir el espacio libre que separa a las antenas, este medio es lineal y recíproco, suele ser invariante con el tiempo.
- **Canal radio:** Aquí ya se incluyen las antenas, las cuales son comúnmente lineales y recíprocas.
- **Canal de modulación:** Engloba las etapas de FI (frecuencia intermedia) y RF (radio frecuencia), donde se incluyen, por consiguiente, amplificadores, mezcladores y filtros. Ninguno de los elementos antes mencionados es recíproco, por lo tanto, el canal toma la misma característica. Sin embargo, el canal será considerado lineal siempre y cuando las conversiones de frecuencia y amplificaciones lo sean. También juega un papel importante la modulación a utilizar, donde las modulaciones digitales multinivel son más sensibles a ser no-lineales, en cambio las modulaciones de amplitud, suelen serlo con menor incidencia.
- **Canal digital:** está incluido todo el proceso digital para la señal, como lo es la codificación y recuperación de símbolos, entonces este canal es no lineal [5].

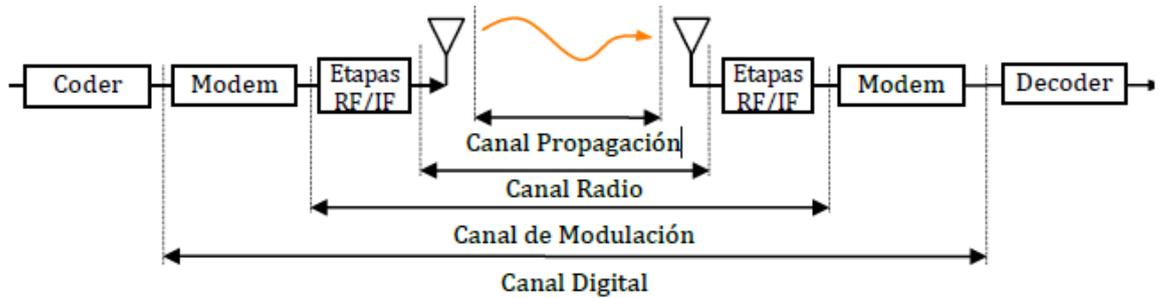


Figura 2.2. Canales de radio [2].

### 2.11. Propagación.

Otra característica fundamental del espectro radioeléctrico es su habilidad de viajar a través del espacio libre o ambientes dieléctricos como el aire sin la necesidad de una guía artificial, a la hora de propagarse en dieléctricos como el aire la distancia que esta pueda cubrir dependerá de parámetros técnicos potencia aplicada, frecuencia y atenuación constante.

Dependiendo de la frecuencia que se quiera transmitir información, tienden a alterarse las otras variables, es decir que a menor frecuencia existe una menor atenuación, en consecuencia, tenemos una mayor cobertura en distancia, sin embargo, la gravedad del planeta tiende a desviar un poco su trazado, el cual debería rectilíneo si se propagara por el vacío.

Si se opera a frecuencias altas, la propagación es prácticamente rectilínea, su atenuación es mayor, por lo tanto, para cubrir una misma distancia que se cubre a bajas frecuencias, se necesitara una mayor potencia de transmisión y es requisito indispensable tener línea de vista entre ambas estaciones [3].

### 2.12. Señales.

Cuando se desarrolla un sistema de comunicaciones, usualmente se debe tomar en cuenta el funcionamiento del circuito en base a la distribución de potencia y la composición de frecuencias de la señal de información. La mayoría de las señales en las comunicaciones electrónicas son senoidales.

### 2.13. Señales senoidales.

El análisis de señales implica la realización de análisis matemático para tener valores de frecuencia, longitud de onda y voltaje de una señal, las señales eléctricas y electromagnéticas son una variación de voltaje o corriente con respecto al tiempo que pueden ser representadas por una serie de ondas seno o coseno [2].

#### 2.13.1. Comportamiento de las ondas de radio.

Hay ciertas reglas, bastante simples que puede n resultar de utilidad a la hora de planificar una red inalámbrica:

- Mientras mayor sea la longitud de onda, mayor es el alcance.
  - Mientras mayor sea la longitud de onda, viaja mejor a través y alrededor de obstáculos
  - Mientras menor sea la longitud de onda, puede transportar más información.
- Para facilitar su comprensión, serán explicadas con un poco más de detalle a continuación:

### **2.13.2. Mayor alcance en ondas.**

Las ondas que poseen una gran longitud de onda tienden a viajar más lejos que las ondas con longitudes de onda corta, ambas siendo transmitidas con las mismas potencias, por ejemplo, se aplica esta teoría con ondas de radio AM y FM, en donde las ondas de radio AM (880 KHz) son capaces de llegar mucho más lejos que las ondas FM cuando éstas poseen frecuencias hasta 100 veces mayores (88.1 MHz).

### **2.13.3. Facilidad de rodear obstáculos.**

Al relacionar las ondas de radio con las ondulaciones que se producen en el agua, se puede observar que, al generar una onda con 5 metros de longitud, ésta no se verá afectada por un trozo de madera de 5mm que se encuentre flotando en el agua, a cambio si más adelante la onda se encuentra con una embarcación de 50 metros, la trayectoria de la onda de agua se verá modificada. Esto quiere decir que la distancia que una onda de radio sea capaz de viajar depende de dos factores, los que comprenden a la longitud de onda y los obstáculos con los que esta onda se encuentre.

Para ejemplificar esta situación se observa que las ondas de radio FM (88 – 108 MHz) son capaces de atravesar obstáculos y edificios sin gran complicación, mientras que ondas más cortas como sucede con la telefonía celular en la tecnología GSM (900 – 1800 MHz), tienen un poco de más dificultades para atravesar paredes y edificios. Si bien es verdad este efecto se ve afectado en cierta parte por las potencias utilizadas en distintos sistemas, el problema también se debe por la longitud de onda que posee GSM.

### **2.13.4. Mayor transmisión de datos.**

Mientras mayor es la oscilación de la onda (frecuencia), mayor cantidad de información puede ser transportada, en donde cada oscilación, es utilizada por un bit, representando un 1 o un 0. Así la transmisión aumenta con el ancho de banda y puede ser mejorada haciendo uso de técnicas de modulación y acceso al medio, como son actualmente OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) y MIMO (Multiple Input, Multiple Output).

## **2.14. Absorción.**

Como ya es conocido, cuando las ondas electromagnéticas viajan y deben atravesar un material, sucede que comúnmente se debilitan o atenúan, la cantidad de potencia que la onda pierda dependerá de variables como frecuencia y el material que vaya a

atravesar [6].

Para radiación es común utilizar el coeficiente de absorción para describir el efecto de un material en las ondas. Para las ondas que tienen longitud de onda inferior a las milimétricas los materiales más absorbentes son:

- Metal: en los materiales metálicos los electrones tienen la libertad de moverse sin problemas a lo largo de la pieza, por tanto, son capaces de oscilar y retener una fracción de la energía de una electromagnética que se encuentre atravesándolos.
- Agua: las ondas electromagnéticas de altas frecuencias (microondas) causan que las partículas de agua se agiten, absorbiendo parte de la energía de una onda que intente atravesarla.

En el estudio de redes inalámbricas se puede llegar a considerar al agua y el metal como materiales absorbentes perfectos, quiere decir que no podremos atravesarlos. Interpretándolos de la misma forma como lo es una pared de ladrillos para la luz.

Cuando se habla de agua, hay que recordar que comprende al elemento en todos sus estados y formas como lo es la lluvia, niebla, vapor, nubes, las cuales son muy posible que se encuentren en medio del camino de la línea de vista de los radioenlaces [6].

Así mismo cuando se habla sobre metal, se puede encontrar en sitios inesperados, como rejillas en medio de paredes de cemento o en capas delgadas de tipos de vidrio modernos.

Existen más materiales en el ambiente que tienen un efecto un poco más complejo y variado en lo que se trata a absorción de ondas de radio, como lo son los árboles y la madera, donde la absorción que tengan dependerá de la cantidad de agua que contengan, por consiguiente, la madera seca será prácticamente transparente para las ondas de radio, al contrario, la madera fresca o húmeda tendrá una absorción mucho más alta.

Los plásticos actúan cercano a la madera seca, no tienen gran absorción para las ondas de radio, pero dependerá de otras variables como la frecuencia de la onda y exactamente el tipo de plástico.

Por último, es necesario hablar de los seres humanos y animales, debido a que son seres compuestos de agua en un gran porcentaje, por tanto, para los sistemas inalámbricos, equivalen a grandes envases de agua, con la misma fuerza de absorción.

### **2.15. Modelos de propagación.**

Un modelo de propagación es una representación simplificada de la realidad por medio de un conjunto de representaciones e hipótesis [5].

Se clasifican según la precisión que estos modelos tienen como:

- Modelos matemáticos.
- Modelos empíricos.
- Modelos teóricos.
- Modelos deterministas.
- Modelos estocásticos.

#### **2.15.1. Modelos matemáticos.**

Modelos planteados matemáticamente mediante el uso de fórmulas para describir el comportamiento del fenómeno físico de propagación las ondas electromagnéticas, dependiendo también del número de parámetros tomados en cuenta, por lo que podría llegar a necesitarse del uso de computadoras para obtener resultados.

#### **2.15.2. Modelos empíricos.**

Se basa en la extrapolación estadística de resultados obtenidas a partir de las medidas de un fenómeno realizadas sobre el terreno. La precisión de este modelo no depende solamente de la precisión de las medidas, sino de la similitud entre las características físicas, ambientales y de entorno entre los dos ambientes de prueba [5].

#### **2.15.3. Modelos teóricos.**

Se basan en los principios fundamentales del fenómeno que se intenta representar. Requieren de una gran cantidad de bases de datos de características relativas al entorno a representar, generalmente los algoritmos utilizados son muy complejos y computacionalmente poco eficientes [5].

#### **2.15.4. Modelos deterministas.**

Modelo en el cual los resultados obtenidos de la simulación no tienen ninguna distribución de probabilidad y solo dependen de las condiciones de la simulación [5].

#### **2.15.5. Modelos estocásticos.**

Son modelos en los que los resultados obtenidos tienen una distribución de probabilidad. Los resultados de la simulación no dependen solamente de las condiciones de entrada por lo que se obtienen distintos resultados para una misma simulación [5].

### **2.15.6. Modelo de Longley-Rice.**

Es un modelo de propagación desarrollado en 1968, es aplicado en frecuencias de 20 MHz a 20 GHz, trabaja en los modos de propagación de área de cobertura y predicción punto a punto.

Este modelo está basado en el análisis estadístico del terreno y la teoría electromagnética, por lo tanto, acorde a la teoría vista se lo considera un modelo empírico-estadístico en el cual predice la atenuación de la señal emitida en base a los siguientes datos:

- distancia de transmisión.
- topografía del terreno.
- variabilidad de la señal en el tiempo.
- variabilidad de la señal en el espacio.

### **2.16. Ancho de banda.**

El ancho de banda es uno de los aspectos más importantes en un sistema de comunicaciones, así como el ruido. Esta característica de las radiocomunicaciones es la diferencia existente entre las frecuencias máxima y mínima contenidas en un canal definido, en otras palabras, su área de trabajo. El ancho de banda debe ser tan grande como para que puedan pasar todas las frecuencias donde se contiene la información. Como regla general en un sistema de comunicaciones inalámbricas no se puede propagar una señal que contenga una frecuencia que varíe por encima o debajo del ancho de banda, si esto sucede habría pérdida de información ya que el sistema posee un canal inferior al ancho de banda requerido.

### **2.17. Sistema electrónico de comunicaciones.**

Para lograr el objetivo de lograr la propagación de ondas electromagnéticas para la transferencia de información es totalmente indispensable, contar con la ayuda de un sistema electrónico para las comunicaciones, son los distintos equipos utilizados para emitir las señales radioeléctricas, el cuyo grado de complejidad va en aumento a medida que se opera con mayores frecuencias y se busca transmitir una mayor cantidad de información, así mismo le acompaña su coste para la elaboración.

Un sistema electrónico de telecomunicaciones se utiliza para transferir información entre dos o más puntos o estaciones, se logra gracias a la conversión de la información a energía electromagnética para transmitirla a las estaciones receptoras, quienes realizan el proceso inverso para obtener la información deseada [2].

## **2.18. Modos de transmisión.**

Se conoce como modos de transmisión a la manera en que se enviarán los datos entre 2 o más estaciones, los sistemas de comunicaciones pueden diseñarse para transmitir en una sola dirección, o ambas direcciones, así mismo, para que se transmita en una vía a la vez o ambas direcciones al mismo tiempo, en total son 4 modos de transmisión:

### **2.18.1. Símplex.**

En este modo de transmisión, la comunicación se realiza únicamente en un sentido, es decir de un Máster hacia un esclavo, entre 2 estaciones, una puede desempeñar una función, pero no ambos a la vez, el ejemplo más claro y común es el sistema de radio, ya sea AM o FM. Cabe recalcar que en este modo se utiliza una única frecuencia para transmitir en un solo sentido.

### **2.18.2. Semidúplex.**

En esta configuración, la comunicación se puede establecer en ambas vías, pero no utilizarlo al mismo tiempo, en este caso las estaciones pueden ser emisoras o receptoras, pero turnadas, comúnmente se utilizan botones para poder emitir información, como hablar, por ejemplo, a estos sistemas se los llama push to talk (PTT), como son los famosos walkies talkies.

### **2.18.3. Dúplex.**

En este caso, se puede dar la comunicación en ambas vías al mismo tiempo, es decir, una estación puede transmitir y recibir simultáneamente, pero es limitante ya que sólo se permite entre 2 estaciones.

### **2.18.4. Full Dúplex.**

Operando de esta manera, también es posible transmitir y recibir coincidentemente, con la ventaja que no necesariamente entre 2 únicas estaciones, esto refiere a que una estación puede emitir a una segunda estación y al mismo tiempo recibir información de una tercera, un ejemplo peculiar es la función de un router en una pequeña red LAN [2].

## **2.19. Ruido.**

Se define al ruido como cualquier energía eléctrica presente en cualquier parte del circuito y con la particularidad que no es deseada y dificulta la comunicación entre las estaciones, pudiendo causar distorsión en el mensaje, malogrando la calidad del sistema. El ruido puede clasificarse en dos secciones: correlacionado y no correlacionado.

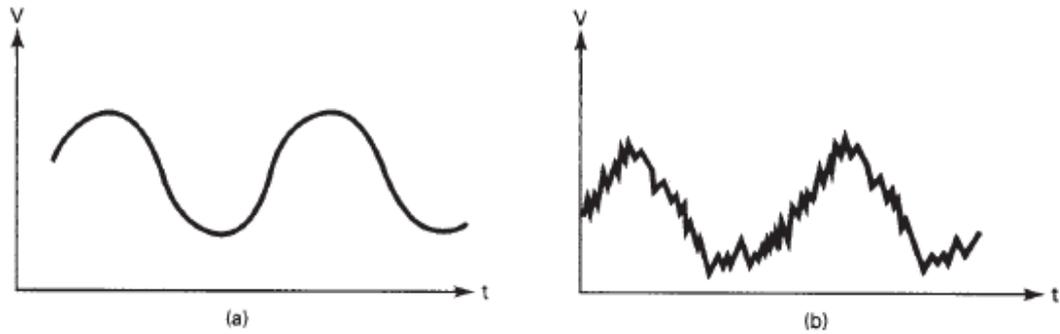


Figura 2.3. Efectos del ruido sobre una señal [2].

### 2.19.1. Ruido correlacionado.

La palabra correlación significa que existe una relación entre la señal y el ruido, por lo tanto, el ruido correlacionado existe únicamente cuando hay alguna señal de entrada que se emite en el sistema de comunicación, eso quiere decir que si no hay señal no hay ruido.

El ruido correlacionado se crea a partir de amplificación no lineal, provocando que se encuentre ruido por distorsión armónica e intermodulación. Absolutamente todo amplificador es no lineal en cierto porcentaje, unos más que otros, por ende, toda amplificación produce distorsión no lineal. El ruido correlacionado es una forma de ruido interno.

#### 2.19.1.1. Distorsión armónica.

También conocida como distorsión de amplitud, se produce cuando en una señal se encuentran armónicas no deseadas a causa de una amplificación no lineal. Los armónicos son múltiplos enteros de una señal de entrada, siendo considerada ésta como la primera armónica o frecuencia fundamental.

#### 2.19.1.2. Distorsión por intermodulación.

Se origina cuando se amplifican dos o más señales en un dispositivo no lineal, dando paso a frecuencias indeseables de suma y diferencia, también conocidas como frecuencias de productos cruzados.

### 2.19.2. Ruido no correlacionado.

El ruido no correlacionado está siempre presente, sin importar si hay señal o no en el sistema.

#### 2.19.2.1. Ruido externo.

Es aquel tipo de ruido que se origina fuera del dispositivo o sistema de comunicación, este tipo de ruido proviene de tres fuentes principales:

#### **2.19.2.2. Ruido atmosférico.**

Causado por actividades o eventualidades eléctricas provenientes de la naturaleza, generadas dentro de la atmósfera terrestre, usualmente se la conoce como electricidad estática, un claro ejemplo son los relámpagos provocados en tormentas. La estática se dispersa en una amplia gama de frecuencias, afortunadamente, su energía es inversamente proporcional a su frecuencia, por lo que se considera peligrosa a frecuencias similares a 30 MHz.

#### **2.19.2.3. Ruido extraterrestre.**

Se refiere a señales eléctricas originadas fuera de la atmósfera del planeta, proveniente del Sol, la Vía Láctea y otras galaxias. El ruido solar se genera por el calor del sol, conformada por situaciones de calma (con respecto a la actividad solar), es decir de constante radiación y luego de olas solares las cuales se repiten periódicamente cada 11 años.

#### **2.19.2.4. Ruido artificial.**

Ruido causado estrictamente por la actividad humana quien ha elaborado maquinarias que arrojan chispas, como motores eléctricos, generadores, lámparas fluorescentes. Este ruido al igual que la estática, se da en pulsos y comprende una gran variedad de frecuencias, cabe recalcar que este tipo de ruido es más intenso en áreas urbanas con alta densidad poblacional y en áreas industriales [2].

#### **2.19.3. Ruido interno.**

Son interferencias creadas dentro de un mismo circuito o dispositivo electrónico, se definen 3 tipos principales de este ruido.

##### **2.19.3.1. Ruido de disparo.**

Son debidas a la llegada aleatorias de portadoras a la salida de algún dispositivo electrónico, como un diodo o un transistor de efecto. Este tipo de ruido varia aleatoriamente, por lo tanto, no poseen un flujo continuo y estable, tampoco una ruta fija en el circuito, se suma con el ruido térmico y se superpone a cualquier señal existente.

##### **2.19.3.2. Ruido de tiempo de tránsito.**

Se las clasifica de esta manera a cualquier variación existente en la corriente de las portadoras cuando pasan de la entrada a la salida del dispositivo y se hace perceptible en la demora del tiempo del ciclo de la señal.

##### **2.19.3.3. Ruido térmico.**

Este ruido es causado por el gran movimiento de los electrones en un conductor, debido a la temperatura del ambiente donde se encuentra el circuito, este movimiento de los electrones aumentan proporcionalmente con subidas de temperatura, a pesar de que su voltaje debido a movimientos aleatorios en todos sentidos, termine

resultando en 0 Vdc. Este ruido se produce en todas las frecuencias y tiene una representación matemática [2].

$$N = KTB$$

Donde:

- N = potencia del ruido (watts)
- B = ancho de banda (Hertz)
- K = constante de proporcionalidad de Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$  Joules por grado kelvin)
- T = temperatura absoluta, en grados kelvin ( $T = ^\circ\text{C} + 273$ )

## 2.20. Interferencia.

La interferencia se podría llegar a considerar como un tipo de ruido externo, se produce interferencia cuando las señales emitidas por un dispositivo, sobre pasan el ancho de su banda asignado, por consiguiente, interrumpen otras señales de alguna otra fuente.

Otro caso muy común de interferencia es visto en las bandas libres, en las que no es necesario tener licenciamiento adquirido para transmitir información, como lo es el Wi-Fi, y como es de suponer, los canales disponibles son limitados y hay tendencia a que en algún punto 2 fuentes emisoras trabajen en el mismo canal, interrumpiéndose entre ellas.

## 2.21. Relación de potencia de señal a ruido.

La relación de potencia de señal a ruido, S/N (de signal-to-noise), es el cociente del valor de la potencia de la señal entre el valor de la potencia del ruido [2].

Matemáticamente se expresa como:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_n}$$

Donde:

- $P_s$  = potencia de la señal (watts).
- $P_n$  = potencia del ruido (watts).

En dB:

$$\frac{S}{N} (dB) = 10 \log \frac{P_s}{P_n}$$

## 2.22. Atenuación.

A medida que una onda electromagnética se aleja de la fuente, el campo electromagnético se dispersa. Existe una ley llamada “Ley del cuadrado inverso” y es la encargada de describir matemáticamente la pérdida de densidad potencia con respecto a la distancia desde la fuente, quiere decir que a medida que las ondas se alejan, la cantidad de ondas por unidad de área es menor, en otras palabras, se extiende sobre un área mayor. La atenuación se debe a la dispersión esférica de la onda electromagnética, se expresa matemática en función del logaritmo, en dB [1].

$$\gamma = 10 \log \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

Donde:

- $\rho_1$  = potencia final
- $\rho_2$  = potencia inicial

## 2.23. Radioenlace.

Un radioenlace se define como el tramo de espacio libre de comunicación inalámbrica directa entre dos estaciones, sea cual sea su rol. Comprende también a todos los equipos electrónicos que intervienen para lograr la comunicación, su distancia puede variar entre unos cientos de metros hasta varios millones de kilómetros. Usualmente un radioenlace opera en modo dúplex como mínimo, por lo tanto, el ancho de banda asignado se divide en 2 frecuencias, consecuentemente llamadas por relación lógica, banda alta y banda baja [1].

## 2.24. Importancia de los radioenlaces.

Los radioenlaces cumplen un rol muy importante en las telecomunicaciones, permiten establecer comunicación entre 2 puntos distantes, de difícil acceso para la instalación de conductores físicos, así mismo, en áreas metropolitanas también son de gran uso, ya que simplifican gran parte de la conexión como lo es establecer una ruta si se usara un medio físico [1].

## 2.25. Tipos de radioenlace.

### 2.25.1. Enlace punto a punto.

Está compuesto por tres elementos fundamentales: transmisor, receptor y canal aéreo.

El transmisor es el encargado de modular la información en frecuencia para ser transmitida, el canal aéreo, es el espacio libre entre transmisor y receptor y, por último, tenemos el receptor, quien es encargado de demodular la señal emitida, nuevamente en información. El factor limitante de la propagación de la señal enlaces microondas es la distancia que se debe cubrir ente el transmisor y el receptor, además esta distancia debe estar libre de obstáculos.

Dentro de un enlace punto a punto intervienen variables como potencia y ganancia, varían según las características de los equipos que intervengan en el sistema inalámbrico [1].

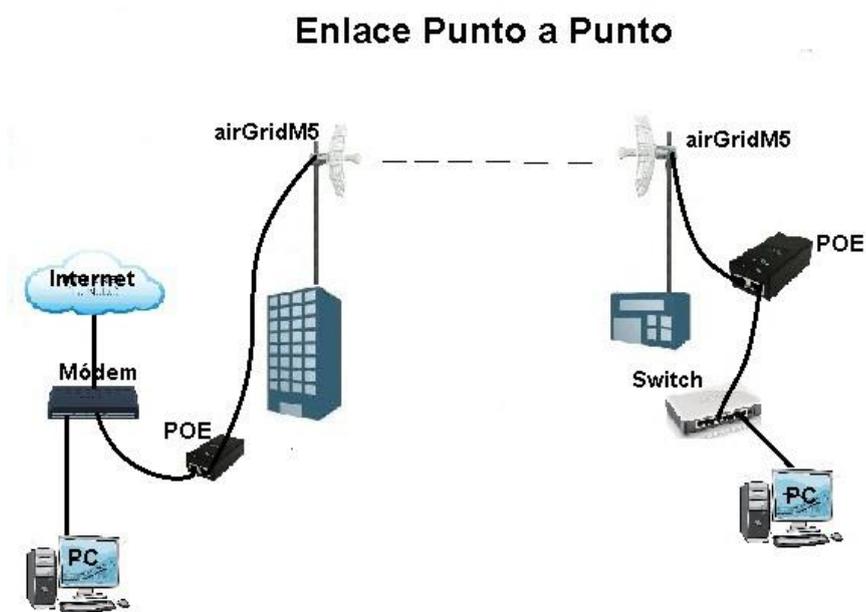


Figura 2.4. Enlace punto a punto [1].

#### 2.25.2. Enlace punto a multipunto.

Cuando hay varias estaciones conectadas a un mismo punto central, se encuentra un escenario de enlace punto a multipunto, como lo es una red Wi-Fi casera a la que tenemos varios dispositivos inalámbricos conectados, por consiguiente, para que las estaciones puedan comunicarse unas con otras deben estar dentro del alcance del nodo central. En un enlace punto multipunto, las estaciones pueden estar fijas o también pueden ser móviles, una ventaja que posee este tipo de enlace es que puede ser utilizado para ampliar una misma red.



Figura 2.5. Enlace punto a multipunto [1].

## 2.26. Ventajas de los radioenlaces.

Las ondas electromagnéticas se propagan a través de la atmósfera terrestre entre estaciones que actúan de transmisores y receptores según el modo de transmisión configurado, cubren distancias de varios cientos de metros hasta distancias de 30 millas, por lo tanto, los sistemas inalámbricos tienen la gran ventaja de poseer la capacidad de llevar miles de canales de información entre dos puntos sin necesidad de guías físicas como cables coaxiales o fibra óptica, así evitando requerir derechos de vía a través de propiedades privadas, además que usualmente cubren un tramo rectilíneo, cosa que la ruta cableada pocas veces tiene la suerte. Las ventajas más resaltables de los sistemas de comunicaciones inalámbricas están:

- Los radioenlaces no necesitan adquisiciones de derecho de vía entre estaciones.
- Cada estación requiere de una compra o alquiler mínimo de terreno para su instalación.
- Debido a sus altas frecuencias, son capaces de llevar grandes cantidades de información.
- Las frecuencias grandes tienen pequeñas longitudes de onda, por lo tanto, sus antenas son considerablemente pequeñas
- En comparación con los sistemas cableados, se requieren menos repetidoras para la amplificación de su señal.
- Las instalaciones subterráneas son necesarias en una mínima cantidad.
- Se consiguen tiempos mínimos de retardo.
- Cuentan con una mayor fiabilidad y menor mantenimiento, que otros sistemas físicos [3].

## 2.27. Zona de Fresnel.

La zona de Fresnel consiste en determinar qué zona del espacio entre emisor y receptor debe estar libre para evitar en la medida de lo posible este fenómeno de cancelación por fase. La obstrucción máxima permisible para considerar que no exista la presencia de algún obstáculo es el 40% de la primera zona de Fresnel [6].

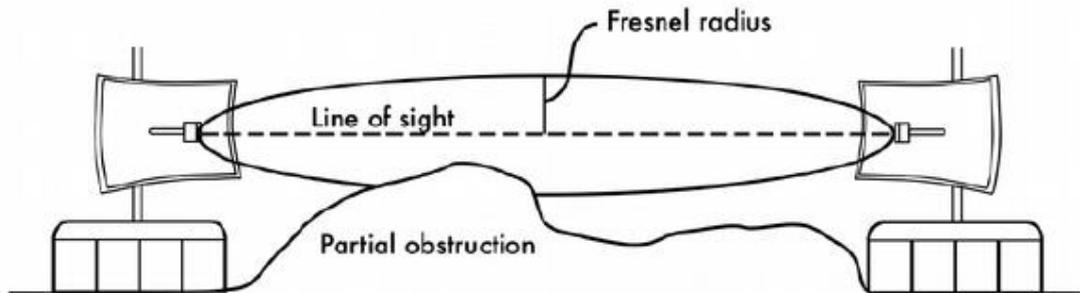


Figura 2.6. Representación gráfica de la Zona de Fresnel [6].

La fórmula básica para el cálculo de la primera zona de Fresnel es:

$$r = 17.32 * \sqrt{\left(\frac{d}{4f}\right)}$$

Donde:

- d = Distancia total entre transmisor y receptor en kilómetros.
- f = Frecuencia en GHz.
- r = Altura en metros que deben tener las antenas.

## 2.28. Parámetros de antenas.

Potencia radiada.

La potencia radiada de una antena se la obtiene haciendo la integral de superficie del vector de Poynting. Haciendo el cálculo para un dipolo se puede expresar de la siguiente manera: [7]

### 2.28.1. Vector de Poynting.

$$\langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}\{\vec{E} \times \vec{H}^*\} = \frac{1}{2} E \cdot H^* = \frac{1}{2\eta} |E|^2 = \frac{\eta_0 k_0^2 (Idl)^2}{32\pi^2 r^2} \sin^2 \theta r$$

Reemplazando en la fórmula de potencia radiada, quedaría:

$$\begin{aligned}
P_t &= \oint_S (\vec{S}) \cdot d\vec{S} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{\eta_0 k_0^2 (Idl)^2}{32\pi^2 r^2} \sin^2 \theta \cdot r r^2 \sin \theta d\theta d\phi \\
&= 2\pi \int_0^\pi \frac{\eta_0 k_0^2 (Idl)^2}{32\pi^2} \sin^3 \theta d\theta = \frac{\eta_0 k_0^2 (Idl)^2}{12\pi}
\end{aligned}$$

### 2.28.2. Resistencia de radiación.

Por similitud eléctrica, podemos despejar la resistencia la fórmula que indica que la Potencia Radiada es igual al producto de una intensidad al cuadrado por una resistencia: [7]

$$P_t = \frac{1}{2} I^2 R_a = \frac{\eta_0 k_0^2 (Idl)^2}{12\pi} \Rightarrow R_a = \frac{2\eta_0 k_0^2 dl^2}{12\pi} = \frac{2(120\pi)(2\pi/\lambda)^2 dl^2}{12\pi} = 80\pi^2 \left(\frac{dl}{\lambda}\right)^2$$

### 2.28.3. Patrón de radiación.

El patrón de radiación es una representación gráfica de la radiación de una antena en el espacio libre a una distancia fija. Se considera como la radiación ideal la brindada por una antena isotrópica.

El vector de Poynting es una característica parecida al diagrama de radiación. Para la antena ideal (isotrópica) se puede calcular dividiendo la potencia radiada para el área de una esfera [7].

$$(\vec{S})_{isótropa} = \frac{P_t}{12\pi r^2} \hat{r}$$

### 2.28.4. Intensidad de radiación.

La intensidad de radiación se define como el cociente de la derivada de la potencia radiada para el ángulo sólido.

$$u(\theta, \phi) = \frac{dp_t}{d\Omega} = \frac{(\vec{S}) \cdot d\vec{S}}{\sin \theta d\theta d\phi} = \frac{(S) \hat{r} \cdot \hat{r} r^2 \sin \theta d\theta d\phi}{\sin \theta d\theta d\phi} = (P) \cdot r^2$$

Si lo vemos para una antena isotrópica, como se busca normalizar la medida con respecto a distancia, la formula quedaría como la primera a continuación, luego si vemos con respecto para el elemento de corriente, la formula sería la segunda: [7]

$$u(\theta, \phi) = u_{isótropa} = (S)_{isótropa} \cdot r^2 = \frac{P_t}{4\pi}$$

$$u(\theta, \phi) = (S) \cdot r^2 = \frac{3}{2} \left(\frac{P_t}{4\pi}\right) \sin^2 \theta = \frac{3}{2} \sin^2 \theta \cdot u_{isótropa}$$

### 2.28.5. Directividad de una antena.

La ganancia directiva o simplemente directividad, es la característica de una antena que detalla cómo es repartida la potencia que este elemento recibe y la distribuye a través del espacio libre.

Como es conocido ya teóricamente, la antena isotrópica reparte la potencia con la misma magnitud en todas las direcciones, se toma como patrón una forma esférica. De tal manera la directividad indica la cantidad de potencia radiada en toda dirección comparado con la antena isotrópica.

La ganancia directiva puede definirse como un cociente partiendo de la intensidad de radiación para llegar a un cociente entre los vectores de Poynting, suponiendo que en este caso ambas antenas irradian la misma potencia: [7]

$$d(\theta, \phi) = \frac{u(\theta, \phi)}{u_{isotrópica}} = \frac{u(\theta, \phi)}{(P_t/4\pi)} = \frac{(S) \cdot r^2}{(P_t/4\pi)} = \frac{(S)}{(P_t/4\pi r^2)} = \frac{(S)}{(S)_{isotrópica}}$$

$$(S) = \frac{P_t}{4\pi r^2} d(\theta, \phi)$$

Aplicando la fórmula para el dipolo elemental obtenemos:

$$d(\theta, \phi) = \frac{u(\theta, \phi)}{u_{isotrópica}} = \frac{u(\theta, \phi)}{(P_t/4\pi)} = \frac{3}{2} \sin^2 \theta$$

Es también posible calcular la potencia radiada en un determinado haz, partiendo de la definición de directividad e intensidad de radiación, teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$d(\theta, \phi) = \frac{u(\theta, \phi)}{(P_t/4\pi)}$$

$$P_{haz} = \int_{\phi} \int_{\theta} dp_t = \int_{\phi} \int_{\theta} u(\theta, \phi) d\Omega = \int_{\phi} \int_{\theta} d(\theta, \phi) (P_t/4\pi) d\Omega$$

$$= \frac{P_t}{4\pi} \int_{\phi} \int_{\theta} d(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi = 4\pi$$

Luego de ver este resultado es fácil comprender que una antena no es capaz de amplificar potencia, su limitación es distribuir la potencia que se le es suministrada desde un transmisor, de distinta forma según su dirección, de la cual la directividad indica.

La directividad en sí es una característica que indica la capacidad de una antena para concentrar la potencia radiada en una determinada dirección, la ganancia directiva se denota con las siglas dB o dBi, donde la i señala los dB con respecto a la antena isotrópica, pero, al fin y al cabo, ambas notaciones son equivalentes.

La directividad para la antena isotrópica es 1, debido a que irradia de igual manera a todos lados, sin embargo, para el dipolo elemental es: [7]

$$d = \max_{\theta, \phi} d(\theta, \phi) \text{ en dB o dBi}$$

$$d = \frac{3}{2} \text{ o } D = 1.76 \text{ dB}$$

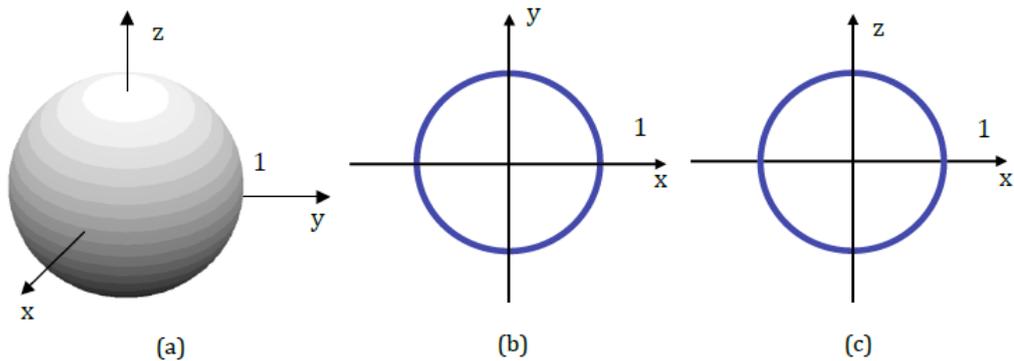


Figura 2.7. Diagrama de radiación de la antena isotrópica en a) 3D, b) vista del plano horizontal y c) vista del plano vertical [7].

A los planos de vistas bidimensionales se los conoce con otros nombres también, al plano con corte vertical se lo llama también como Plano E, debido a que el plano eléctrico está contenido en esta sección. Así mismo, al plano con corte horizontal se lo llama Plano H, ya que contiene al campo magnético.

En estos gráficos se representa el patrón de radiación como el valor de la ganancia directiva en 3D y en cortes en planos bidimensionales. Estas representaciones en dos dimensiones se las conoce también como “diagrama polar” porque cada punto del trazado del plano representa un ángulo, azimut o elevación junto a una distancia desde el centro que muestran el patrón de radiación. El valor final trazado en el diagrama polar es usualmente la ganancia directiva, pero también puede ser aplicado el vector de Poynting, la intensidad de radiación o el campo eléctrico.

Así mismo estos valores pueden ser representados en otros tipos de gráficas con ejes cartesianos, haciendo uso de unidades naturales o logarítmicas, comparados con el azimut o la elevación, donde resulta un poco más fácil estudiar el ancho de los lóbulos del patrón de radiación según la antena empleada. A continuación, se muestran ambos tipos de diagramas, como son el diagrama polar y cartesiano, para una antena dipolo elemental [7].

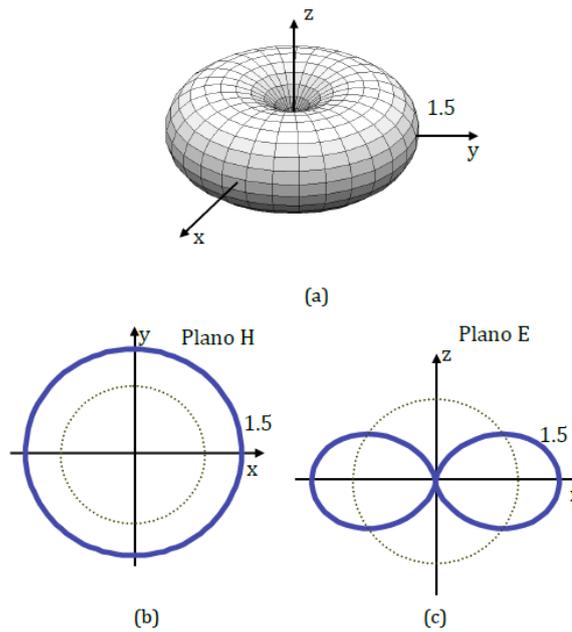


Figura 2.8. Diagrama de radiación de la antena dipolo elemental en a) 3D, b) vista del plano horizontal y c) vista del plano vertical. En líneas punteadas aparece el diagrama de radiación de la antena isotrópica [7].

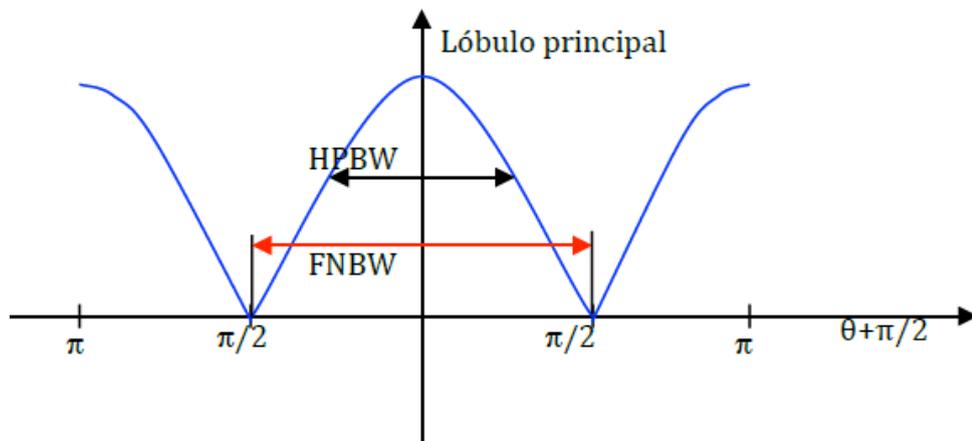


Figura 2.9. Patrón de radiación de la antena dipolo elemental en coordenadas cartesianas en función de la elevación [7]

### 2.28.6. Impedancia de una antena.

La impedancia de una antena no es exactamente el mismo valor de la resistencia de radiación, pero responde a la expresión general:

$$Z = R + jX$$
$$R = R_0 + R_p$$

Esto quiere decir que la parte resistiva puede incluir aparte de la resistencia de radiación ya conocida, una resistencia disipativa, la cual modela pérdidas por calentamiento. La parte imaginaria de la ecuación hace referencia a la reactancia y muestra el comportamiento que tiene la antena en campos cercanos en la imagen a continuación se puede apreciar el circuito equivalente a una antena radiando.

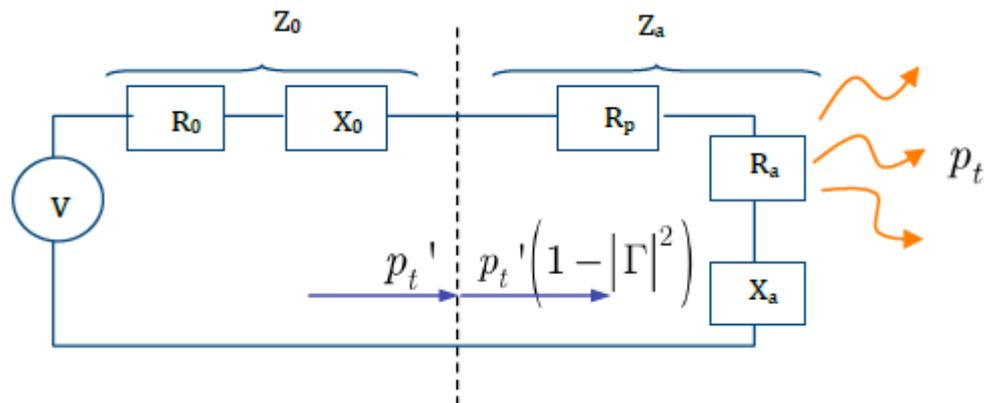


Figura 2.10. Circuito equivalente de una antena [7].

Para una frecuencia específica se es capaz de escalar las proporciones de una antena para lograr que la impedancia de radiación sea real. A estas medidas y frecuencia la reactancia queda anulada, pero a frecuencias mayores o menores para la que fue diseñada ya no se cumple de igual manera. Como es conocido las antenas deben transmitir y recibir información a dos frecuencias que consisten en una frecuencia central modulada, se considera necesario estudiar el comportamiento de la antena en dicho rango de frecuencias. El comportamiento a estudiar será protagonizado por la reactancia y resistencia de la antena, que en conjunto deducen una relación de onda estacionaria (ROE) [7].

### 2.28.7. ROE, VSWR.

La razón principal por la que se calcula la impedancia de una antena es porque a partir de este valor nace su respuesta en frecuencia. A pesar de ello, en las hojas de especificaciones de las antenas no se muestra el valor de la impedancia de la antena, pero si su ROE de la tensión frente a la frecuencia de operación.

El valor de la ROE de tensión, o también conocido como VSWR (voltage standing wave ratio), es equivalente a la relación entre la tensión mínima y máxima en la entrada de la línea de TX de la antena. Responde a la ecuación:

$$VSWR = \frac{1 + |R|}{1 - |R|}$$

Ecuación en donde se cuenta con una variable  $\Gamma$  que varía entre 0 y 1, por tanto, la VSWR fluctuaría entre 1 a infinito, es notable ver que esta medida es un poco más sensible a la adaptación. La banda que esta antena opera, debe mostrar valores cercanos a 1 con respecto al ROE, y a razón que se aleja de las frecuencias de la banda, este valor irá aumentando hasta infinito [7].

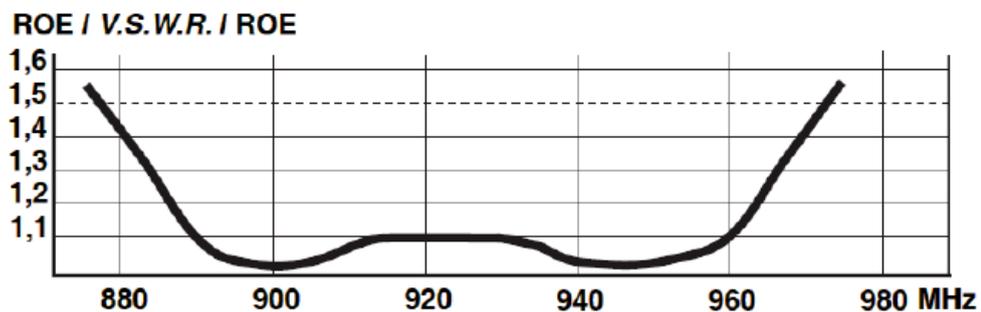


Figura 2.11. ROE/VSWR de una antena omnidireccional para bandas GSM (890 – 960 MHz) [7].

#### 2.28.8. PR, RL.

La pérdida de retorno o PR, también conocido como RL (return loss), responde a la ecuación:

$$PR = .20 \log|r|$$

De tal manera que una pérdida grande muestra la existencia de una reflexión pequeña y una ROE/VSWR cercana a 1. Cabe recalcar que no es lo mismo la pérdida de retorno con la pérdida de potencia a la hora de hacer cálculos de pérdida de potencia en un enlace inalámbrico.

#### 2.28.9. Ganancia de una antena.

En el recorrido existente desde que la antena es alimentada hasta la irradiación de la potencia, constan distintas pérdidas que se pueden modelar. Con base en el esquema eléctrico de una antena, se puede observar que la excitación consta de un generador y una impedancia interna  $Z_o$ , del lado de la antena a excitar, posee una propia impedancia de disipación  $R_p$ , más la equivalente de radiación  $Z_a$ , que comúnmente es compleja. Entregando una potencia  $P_t$  de la cual parte se enviará a la antena y parte será reflejada, percibiendo un rendimiento y coeficiente de reflexión:

$$\eta_d = 1 - |r|^2$$

$$r = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0}$$

Así mismo, de la potencia que se transmite a la antena, cierta parte será disipada y la otra parte será radiada, por lo que existe una segunda forma para obtener el rendimiento, y haciendo uso de ambos rendimientos, obtener un total y finalmente relacionar las potencias radiadas y entregadas:

$$\text{donde } R_a \gg R_p \quad \eta_p = \frac{R_a}{R_a + R_p'} \quad \eta_a = \eta_p \cdot \eta_d$$

$$P_t = \eta_a \cdot P_t' = 1/l_a \cdot P_t'$$

Resulta ventajoso actualizar el valor de la ganancia directiva por una ganancia más real, aplicando, al cual su valor máximo se denominaría ganancia de la antena: [7]

$$g(\theta, \phi) = \frac{u(\theta, \phi)}{P_t'/4\pi} = 1/l_a d(\theta, \phi)$$

$$g(\theta, \phi) = \max_{\theta, \phi} g(\theta, \phi)$$

## 2.29. PIRE.

Para poder limitar la potencia radiada por la antena, existen dos parámetros a manipular para poder controlar el valor final. De un lado se encuentra la potencia entregada a la antena, y por otro la ganancia que posee este objeto.

Entonces para poder relacionar estos valores, se da origen al PIRE (potencia isotrópica radiada equivalente) o su similar en inglés EIRP (equivalent isotropic radiated power), el cual es equivalente al producto de ambas variables antes mencionadas.

Se muestran en unidades naturales y logarítmicas.

$$pire = g \cdot P_t' = (l_a g) \cdot (1/l_a P_t') = d \cdot P_t$$

$$PIRE = P_t' + G = P_t + D$$

Con esta ecuación se proporciona una medida de la potencia real radiada en la o las direcciones brindadas por la antena, para comprender cual es la PIRE de una manera más exacta, se puede utilizar la ecuación vista sobre directividad y reemplazar, también como la PIRE se calcula usualmente con el valor máximo de la ganancia se obtendría una segunda ecuación.

$$(S)|_{max} = \frac{P_t \cdot d}{4\pi r^2} = \frac{P_t' \cdot g}{4\pi r^2} = \frac{pire}{4\pi r^2}$$

$$(S) = \frac{P_t \cdot d(\theta, \phi)}{4\pi r^2} = \frac{P_t' \cdot g(\theta, \phi)}{4\pi r^2} = \frac{\text{pire}(\theta, \phi)}{4\pi r^2}$$

La pire tiene una importancia muy alta debido a que organismos nacionales e internacionales hacen uso de esta para limitar las potencias de transmisión de los sistemas inalámbricos.

Un caso especial de considerable interés para estudiar en el campo de las radiocomunicaciones y sus sistemas recae en que hay varias portadoras radiadas. En teoría cada portadora corresponde a un canal o conjunto de canales (si se trata de TDMA, por ejemplo), por lo que generalmente se calcula la pire para cada una de las portadoras individualmente. Pero si el enfoque está en el pire de la antena, corresponde a la suma de los pires de todas las portadoras que le comprenden [7].

### 2.30. Pérdidas en el espacio libre.

Al momento de referirse a un enlace punto a punto, es recomendado hacer el cálculo de pérdidas en el espacio libre haciendo uso de antenas isotrópicas, a este fenómeno se lo denomina también como atenuación, descrita por la fórmula:

$$L_{bf} = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad dB$$

O también descrita en su forma logarítmica en función de la frecuencia:

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d \quad dB$$

### 2.31. Ancho de haz a 3Db.

El ancho de haz a 3db en una antena se aplica con un corte plano del diagrama de radiación con respecto a la directividad. En este plano con el corte hecho a 3 dB, hace referencia a la distancia en grados o radianes desde el centro a ambos costados.

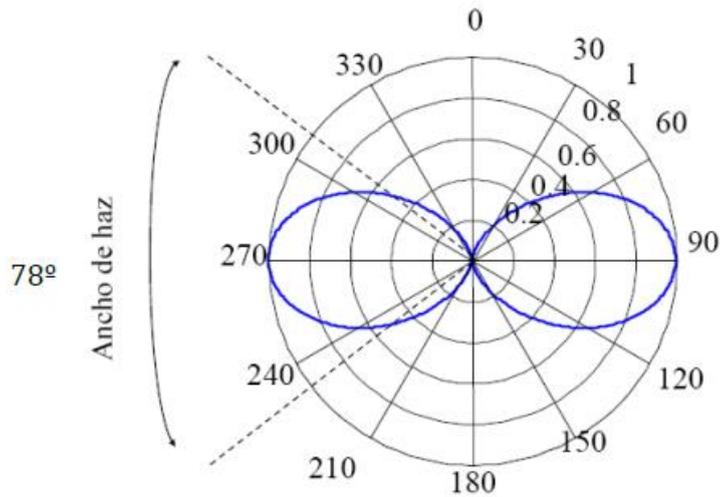


Figura 2.12 Ancho de haz a 3dB para una antena dipolo ideal [7].

### 2.32. Antenas en la recepción.

Como es fácil deducir, el medio de propagación es recíproco, tema que se puede demostrar haciendo uso de las ecuaciones de Maxwell. Esta reciprocidad se evidencia en donde las transimpedancias  $Z_{12}$  y  $Z_{21}$  son iguales. Este es un hecho de gran importancia debido que es la respuesta del porqué las antenas en la recepción son capaces de comportarse como en la transmisión [7].

### 2.33. Reciprocidad.

Para entender el desempeño de una antena en el momento de la recepción, hay que apegarse al modelo eléctrico del conjunto: transmisión – propagación – recepción, esquema mostrado más adelante, donde está dictado por el siguiente par de ecuaciones, donde se reduce el conjunto antena transmisora – propagación – antena receptora a una red de dos puertas: [7]

$$V_1 = I_1 Z_{11} + I_2 Z_{12}$$

$$V_2 = I_1 Z_{21} + I_2 Z_{22}$$

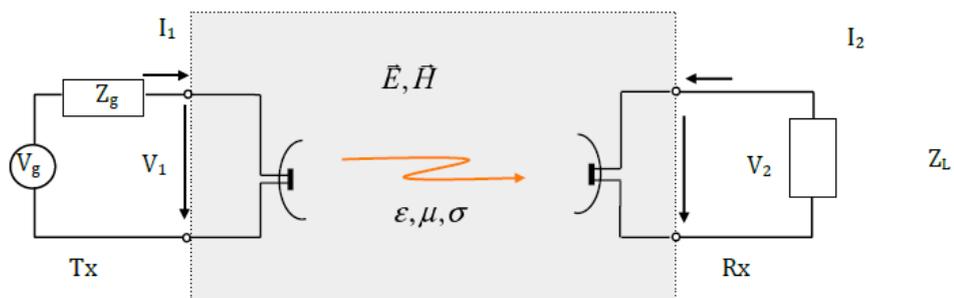


Figura 2.13. Esquema de transmisión – propagación – recepción [7].

### 2.34. Impedancia en la recepción.

Si está demostrado que  $Z_{12}$  y  $Z_{21}$  son iguales, es factible pasar a calcular la impedancia de una antena en el caso de recepción, para lo cual es necesario primero reemplazar el medio de transmisión por su equivalente eléctrico, aprovechando también que  $Z_{12} = Z_{21}$ .

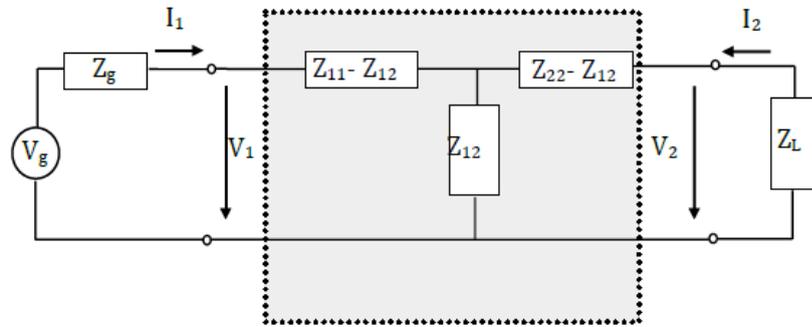


Figura 2.14. Esquema eléctrico de antenas transmisora a receptora y canal [7].

La impedancia que percibe el generador, que es la impedancia de radiación en transmisión es:

$$Z_1^T = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} - \frac{Z_{12}^2}{Z_{22} - Z_L}$$

Que quiere decir, la suma de las resistencias  $Z_{11}$  y  $Z_{12}$  junto al paralelo de  $Z_{12}$ ,  $Z_{22}$ ,  $Z_{12} + Z_L$ . si hablamos del lado de la recepción, las impedancias  $Z_{12} \ll Z_{11}$  y  $Z_{11} \sim Z_{12}$ . Por lo tanto, en la recepción el esquema eléctrico sería: [7]

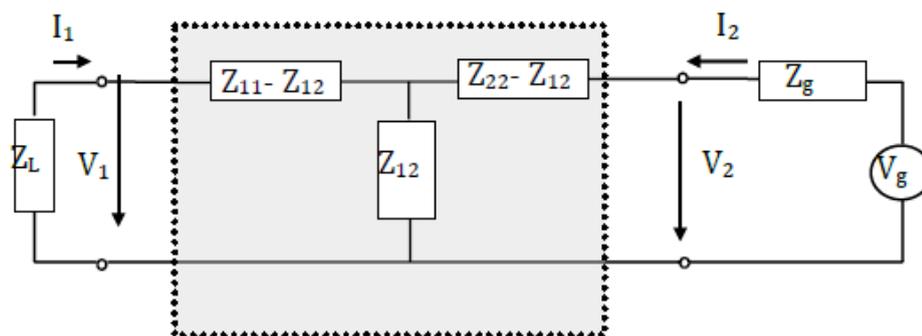


Figura 2.15. Esquema eléctrico de antenas receptora - canal - transmisora [7].

Para la representación anterior, se puede aplicar el cálculo del circuito equivalente de Thevening para calcular la impedancia de entrada. Y su tensión equivalente de circuito abierto:

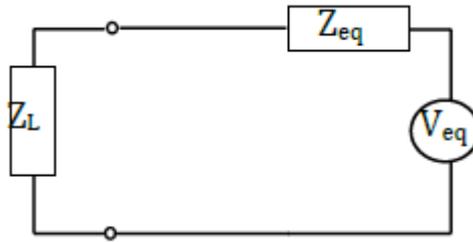


Figura 2.16. Circuito equivalente de Thevening de la antena de recepción [7].

$$V_{eq} = V_{ca} = I_2 Z_{12} = \frac{V_g}{Z_g + Z_{22}} \cdot Z_{12}$$

Este es el voltaje que recibe la antena, también se puede calcular la impedancia equivalente como la impedancia que se percibe desde v1 cuando  $V_g=0$ :

$$Z_1^R = Z_{eq} = Z_{11} - \frac{Z_{12}^2}{Z_g + Z_{22}}$$

La impedancia mostrada es la impedancia de la antena como receptora, cuando las antenas están alejadas sucede que  $Z_{12} \ll Z_{22}$ ,  $Z_{12} \ll Z_{11}$  y  $Z_{12} = Z_1^R = Z_{11}$ . En las antenas estudiadas,  $Z_{11}$  es la impedancia de radiación  $R_a$ .

### 2.35. Igualdad de los patrones de radiación.

Para calcular el patrón de radiación de una antena trabajando en recepción se procede a ubicar una antena de prueba a cierta distancia  $r$  y analizar la tensión recibida al excitar la antena receptora (que en este caso hará de transmisora) con una determinada intensidad  $I$  [7].

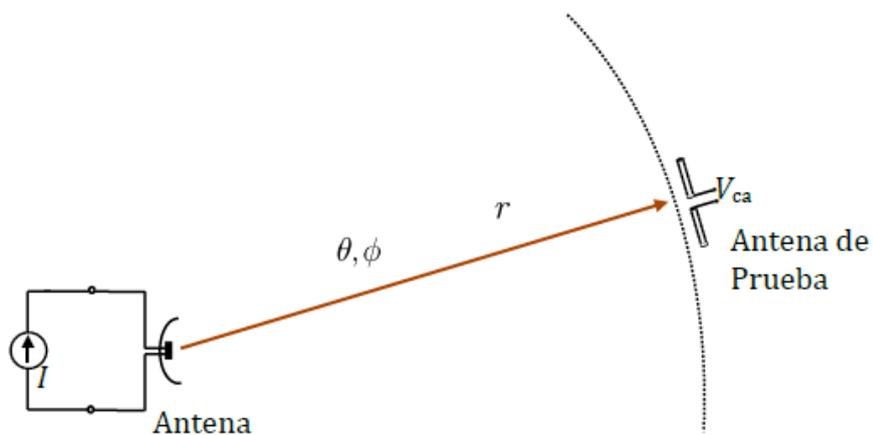


Figura 2.17. Representación gráfica de medición del diagrama de radiación [7].

En la figura mostrada se mide el efecto del campo lejano de la antena ubicando la antena de prueba en una superficie de una esfera de radio  $r$ . El voltaje de circuito abierto muestra el patrón de radiación de la antena de tal manera que el patrón de radiación normalizado es:

$$Z_{21}(\theta, \phi) = V_{ca}/I$$

Si la antena de prueba es alimentada con un generador  $I$  y se mide el voltaje en circuito abierto de la antena que es foco de estudio, tal como se observa en la figura más adelante, se percibe el patrón de radiación, ahora en la recepción con  $Z_{12}$ . Debido que por reciprocidad  $Z_{21}(\theta, \phi) = Z_{12}(\theta, \phi)$ , tenemos que ambos patrones son iguales [7].

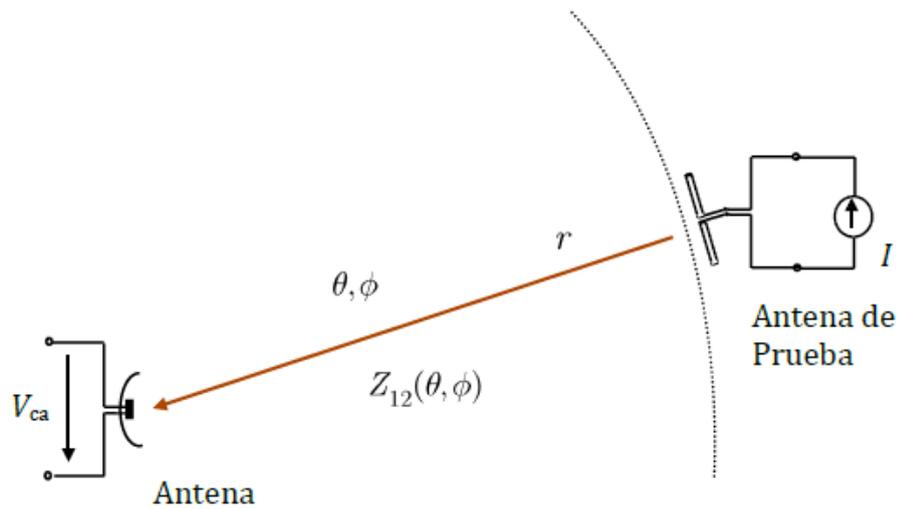


Figura 2.18. Representación gráfica de medición del diagrama de radiación en la recepción [7].

### 2.36. Igualdad del patrón de radiación.

Este sencillo razonamiento es factible de deducir, agregando las potencias transmitidas en un par de antenas de un sistema inalámbrico. Transmitiendo la primera antena, la potencia recibida en la segunda antena es:

$$P_r = \frac{1}{2} \text{Re}[Z_L] \left| \frac{I_1 Z_{12}(\theta, \phi)}{Z_2^R + Z_L} \right|^2$$

Si se asume que la distancia entre las antenas es considerablemente grande y por simplificar el cálculo se establece una impedancia de antena que sea real, se tendría una igualdad en que  $Z_2^R = Z_{22} = R_{22} = R_{A2}$  y se adapta  $Z_L = R_{22}$ .

$$P_r \approx \frac{1}{2} \text{Re}[Z_L] \left| \frac{I_1 Z_{12}(\theta, \phi)}{Z_{22} + Z_L} \right|^2$$

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4R_{22}} |Z_{12}(\theta, \phi)|^2 |I_1|^2 = \frac{1}{4R_{22}R_{11}} |Z_{12}(\theta, \phi)|^2 P_t$$

Ahora, intercambiando la tarea de las antenas (antena 2 transmite y antena 1 recibe), la potencia percibida por la antena 1 es evidentemente igual a la recibida por la antena 2 en el ejercicio anterior: [7]

$$P_r = \frac{1}{2} \operatorname{Re}[Z_L] |I_1|^2 = \frac{1}{2} \operatorname{Re}[Z_L] \left| \frac{V_{ca}}{Z_1^R + Z_L} \right|^2 = \frac{1}{2} \operatorname{Re}[Z_L] \left| \frac{I_2 Z_{12}(\theta, \phi)}{Z_1^R + Z_L} \right|^2$$

$$P_r \approx \frac{1}{2} \operatorname{Re}[Z_L] \left| \frac{I_2 Z_{12}(\theta, \phi)}{Z_{11} + Z_L} \right|^2$$

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4R_{11}} |Z_{12}(\theta, \phi)|^2 |I_2|^2 = \frac{1}{4R_{22}R_{11}} |Z_{12}(\theta, \phi)|^2 P_t$$

## 2.37. Parámetros de una antena en la recepción.

### 2.37.1. Longitud efectiva.

Este concepto ya sea referido a transmisión o recepción, siempre está asociado a una antena con forma de varilla. Del lado de la transmisión, la longitud efectiva de una antena es la medida de un dipolo con una distribución ideal constante de la corriente, como se muestra más adelante en la figura a) a continuación, en la figura contigua b), se muestra que, multiplicando por la intensidad de alimentación, se iguala la integral de la intensidad a lo largo de toda la distancia, expuesto en la siguiente expresión matemática:

$$I_{ef} = \frac{1}{I(0)} \int_{-1/2}^{1/2} I(z) dz$$

Al momento de hablar de recepción, se asume que en el centro de la antena se percibe un campo eléctrico con amplitud  $E$ , para calcular la medida de la antena en forma de varilla acorde un sentido y dirección del campo que multiplicado por el mismo genera la misma tensión en circuito abierto. [7]

$$V_{ca} = -I_{ef} E$$

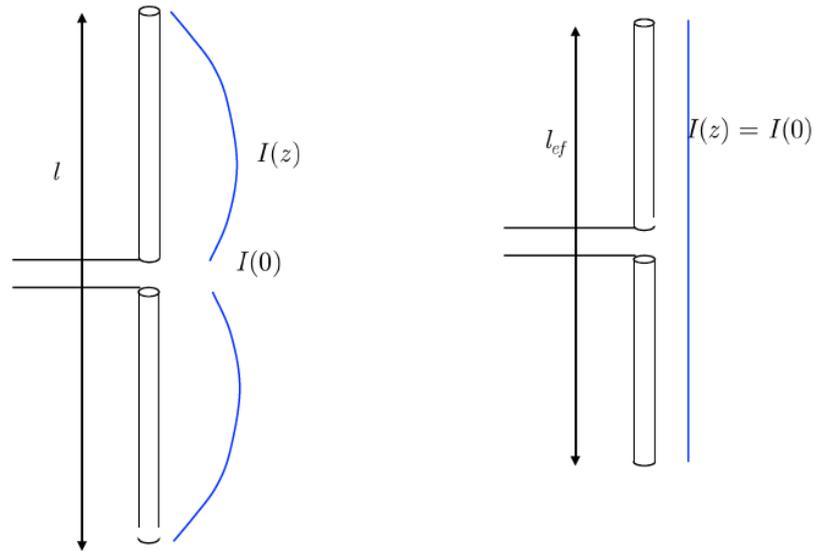


Figura 2.19. Representación gráfica de una antena equivalente con longitud efectiva en transmisión [7].

### 2.37.2. Área efectiva.

Reutilizando la fórmula de ganancia directiva, la densidad de potencia por unidad de área (mejor conocido como vector de Poynting), para una antena transmisora se puede adecuar acorde la potencia entregada, de la cual la antena recibe esta potencia emitida y entrega una parte a cierta carga.

$$\langle S \rangle = \frac{P_t'}{4\pi r^2} g_1(\theta_1, \phi_1)$$

$$P_t' = \langle S \rangle A_{ef2}(\theta_2, \phi_2)$$

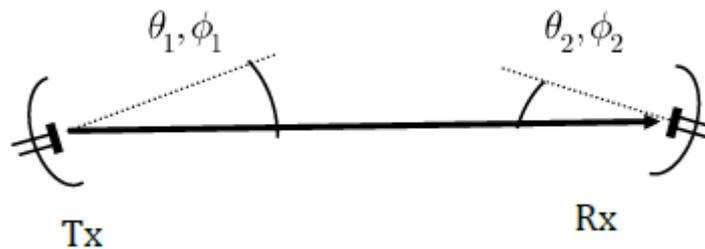


Figura 2.20. Orientación de antenas [7].

El área efectiva de una antena es puntualmente una fracción de la densidad de potencia recibida de una antena que la traduce en potencia. La potencia recibida es distribuida con una carga adaptada acorde a la impedancia de la antena. El área efectiva tiene otros nombres como lo es sección transversal de captura o absorción.

Si por algún caso se llegan a intercambiar los roles entre emisor y receptor, la potencia recibida debe ser exactamente la misma, apegándose a la teoría de la reciprocidad de los sistemas (obviando factores terceros variantes como temperatura, humedad, etc.)

$$\frac{P_t'}{4\pi r^2} g_1(\theta_1, \phi_1) A_{ef2}(\theta_2, \phi_2) = \frac{P_t'}{4\pi r^2} g_2(\theta_2, \phi_2) A_{ef1}(\theta_1, \phi_1)$$

$$\frac{g_1(\theta_1, \phi_1)}{A_{ef1}(\theta_1, \phi_1)} = \frac{g_2(\theta_2, \phi_2)}{A_{ef2}(\theta_2, \phi_2)}$$

$$A_{ef2}(\theta, \phi) = \frac{g_2(\theta, \phi)}{g_1} A_{ef1}$$

Para obtener el área efectiva de cualquier antena solo es necesario aplicar el cálculo a una de ambas en una dirección determinada, haciendo uso del elemento de corriente, direccionado en la sección de máxima ganancia de la antena y que se encuentre paralelo al campo eléctrico.

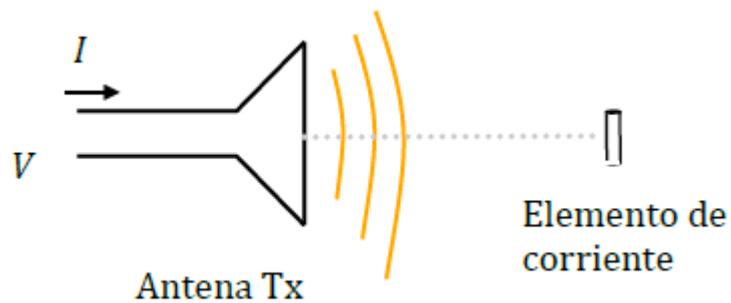


Figura 2.21. Dibujo representativo para cálculo de área efectiva [7].

La potencia cedida a una resistencia adaptada a la antena dipolo es el voltaje en circuito abierto fraccionado para 4 veces dicha resistencia. Como la tensión de circuito abierto es también el campo incidente por el dl (longitud efectiva), se obtiene:

$$P_r' = \frac{V_{ca}^2}{4R_a} = \frac{E^2 l_{ef}^2}{4R_a}$$

Donde el voltaje está mostrado en valor eficaz. En esta ecuación se puede reemplazar la variable de resistencia de radiación de un dipolo hertziano para eliminar la dependencia con la longitud de la antena y luego reemplazando con el vector de Poynting:

$$P_r' = \frac{E^2 (dl)^2}{4R_a} = \frac{E^2 \lambda^2}{320\pi^2}$$

$$P_r' = \langle S \rangle A_{ef} = \frac{E^2}{\eta} A_{ef}$$

Donde de igual manera el campo esta dado en valor eficaz, igualando ambas expresiones anteriores, sabiendo que para dipolo hertziano  $d=3/2$  y despejando el área efectiva, resulta:

$$A_{ef} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

$$A_{ef}(\theta, \phi) = g_2(\theta, \phi) \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

En base a los cálculos demostrados anteriormente se puede deducir que es posible calcular la potencia recibida en una antena en función de la potencia transmitida en la otra antena [7].

### 2.37.3. Factor de antena.

El factor de antena es equivalente al cociente entre el campo eléctrico incidente en una antena trabajando como receptora y el voltaje que la antena entregaría a una carga de 50 ohm.

$$f_a = \frac{E}{V} m^{-1}$$

Este cálculo se obtiene en dB  $m^{-1}$ . Esto quiere decir que cuando la antena posee un factor pequeño, ésta es más sensible al campo incidente. La relación entre factor de antena y el área efectiva es directa, permitiendo deducir que ambas características crecen proporcionalmente acorde a la frecuencia [7].

### 2.38. Polarización.

Hablando de campos lejanos, se tiene generalmente un campo contenido en un plano transversal al vector radial o mejor dicho la dirección de avance.

$$\vec{E} = E_\theta \hat{\theta} + E_\phi \hat{\phi} = E_\theta \hat{\theta} + k E_\theta e^{ja} \hat{\phi}$$

Ecuación en donde esta puesta la componente  $\Phi$  a partir de la componente en  $\theta$  para demostrar que hay una diferencia, una en magnitud y otra en fase. En cualquier punto que se analice, se verá una onda que avanza en dirección a un vector radial y tiene estos elementos en el plano tangencial-transversal acorde a la dirección marcada, como es detallado en el esquema a continuación:

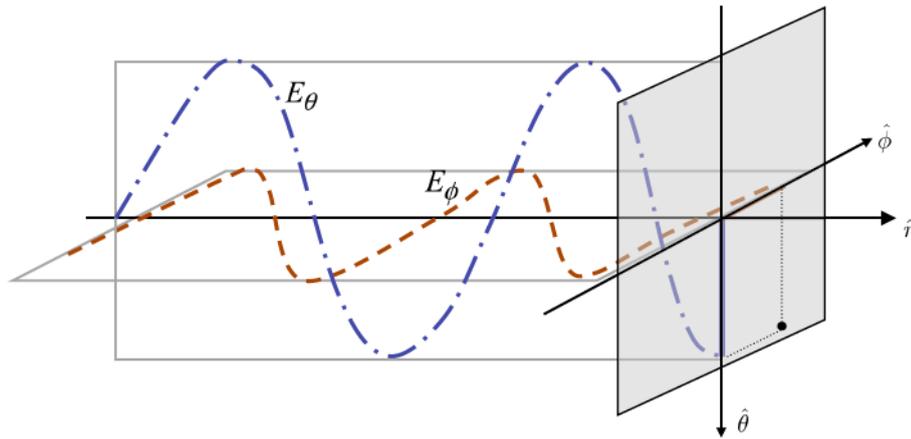


Figura 2.22. Propagación de una onda con componentes en  $\theta$  y  $\Phi$  [7].

Otra figura interesante se muestra más adelante, donde acorde a las variables  $k$  y  $\alpha$  podemos ver 3 situaciones distintas:

- Una polarización en un solo eje: En el caso del dipolo con  $\lambda/2$ , se puede colocar en cualquier eje (X, Y o Z)
- Una polarización en circunferencia: si  $k=1$  y  $\alpha$  es  $\pm \pi/2$
- Una polarización con forma elíptica: cualquier otra situación distinta a las condiciones anteriores.

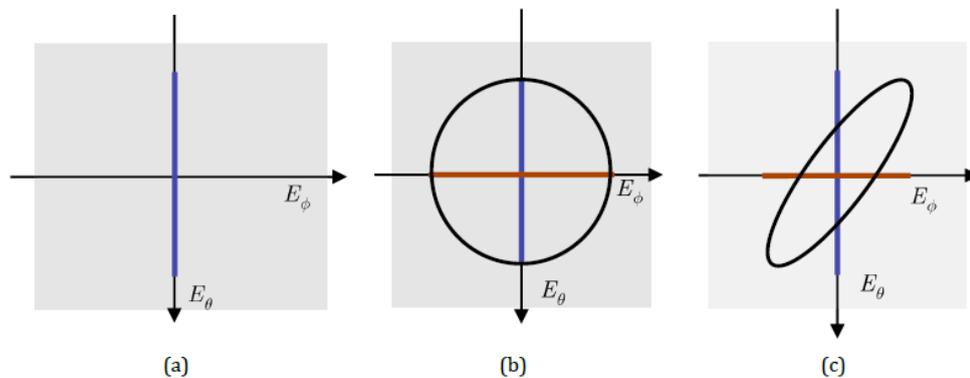


Figura 2.23. Tipos de polarización: a) lineal vertical, b) circular, c) elipsoidal [7].

Para que, en un sistema inalámbrico, en el caso particular que se encuentren 2 dipolos en los extremos, es fundamental que estos se encuentren situados en ejes paralelos para poder recibir la máxima potencia  $P_r$ . En caso de que estas polarizaciones fuesen ortogonales, la potencia recibida sería nula. El voltaje generado en la antena receptora es igual a la integral de la proyección del campo en el eje de la antena receptora a lo largo de la longitud del dipolo. Por tanto, para cualquier valor de rotación  $\alpha$  desde la posición de paralelismo a la de ortogonalidad, la potencia que es proporcional al campo se atenúa acorde al rendimiento: [7]

$$\eta_d = 1/l_d = \cos^2 \alpha$$

## 2.39. Componentes electrónicos de un sistema inalámbrico.

### 2.39.1. Estación base.

Una estación base de un sistema de comunicaciones inalámbrico es capaz de cumplir la función de emisor tanto como la de receptor, de cualquier índole o protocolo existente (voz, datos, video) que el usuario requiera. Toda estación base cuenta al menos con el siguiente grupo de elementos: [5]

### 2.39.2. Cables y conectores.

En los sistemas inalámbricos es muy popular contar con la presencia del cable coaxial en todos los segmentos de conexión cableada o al menos en una parte ellos, el cable coaxial está compuesto por un conductor eléctrico que está ubicado al centro del cable, recubierto por un material dieléctrico, cuenta con una malla metálica y finalmente protegido por un aislante plástico (PVC).

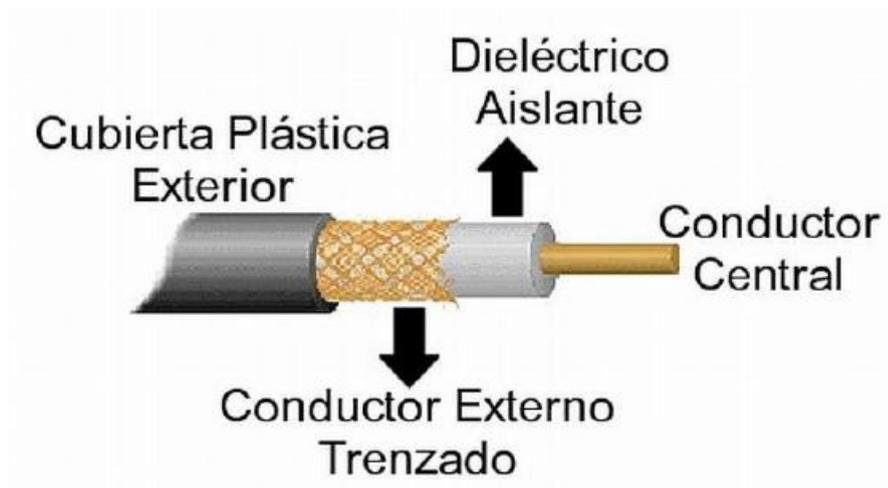


Figura 2.24. Representación gráfica de un cable coaxial [5].

Este tipo de cables cuenta también con un grupo de conectores para poder llevar a cabo la comunicación, con la limitante de la frecuencia que soporta cada uno, como la figura que se muestra a continuación [5].



Figura 2.25. Tipos de conectores para cable coaxial [5].

El uso de cable UTP en todas sus variaciones y categorías, se han vuelto muy populares en los sistemas de comunicaciones inalámbricos para interconectar estos equipos dentro de las redes LAN ya que ofrecen velocidades desde 100 Mbps (cat. 5e) hasta 10 Gbps (cat. 6a). con una distancia máxima de 100 m. por especificaciones técnicas y normativas internacionales [5].

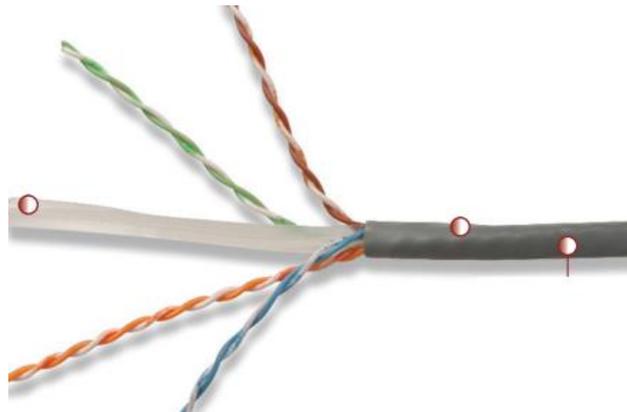


Figura 26. Cable UTP cat. 6 Siemon [8].

### 2.39.3. Unidad de radiofrecuencia (RFU).

Este módulo tiene distintas funciones como son las de alimentación, procesar las frecuencias de radio, posee la interfaz de los cables, convertidor de señales, amplificador de potencia y ganancia, el desempeño principal de este equipo es funcionar como transmisor y receptor en los radioenlaces [5].



Figura 2.27. UBNT Rocket M5 [9].

#### 2.39.4. Power over ethernet (PoE).

Es una tecnología que incorpora alimentación eléctrica a una infraestructura de red equipos inalámbricos (access point) pueden recibir energía eléctrica a través del cable UTP - Ethernet, además de los datos mediante el sistema PoE. Se debe tener mucho cuidado a la hora de implementar este sistema de configuración en una red inalámbrica, ya que no todos los equipos soportan PoE [5].

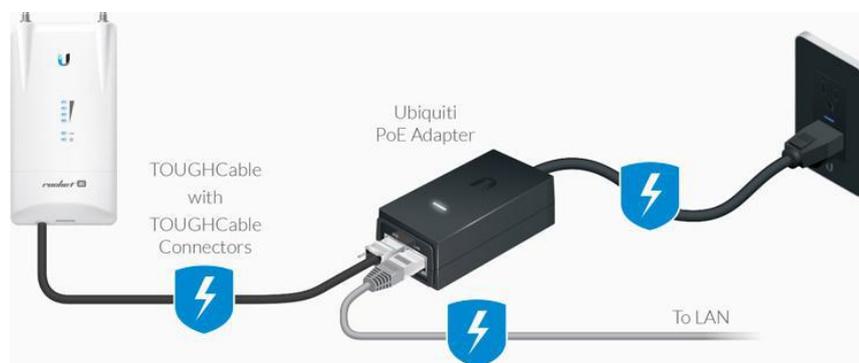


Figura 2.28. Ejemplo de conexión para PoE [5].

#### 2.39.5. Sistema de antenas.

Las antenas son dispositivos inalámbricos pasivos, estos equipos varían con base a variables como la frecuencia de operación, por lo que causa inmediatamente que su tamaño varíe dependiendo de la longitud de onda de la frecuencia utilizada. En este caso estaremos enfocados a las frecuencias de bandas no licenciadas como son 2.4 GHz y 5 GHz, cuya longitud de onda son 12.5 cm y 6 cm respectivamente.

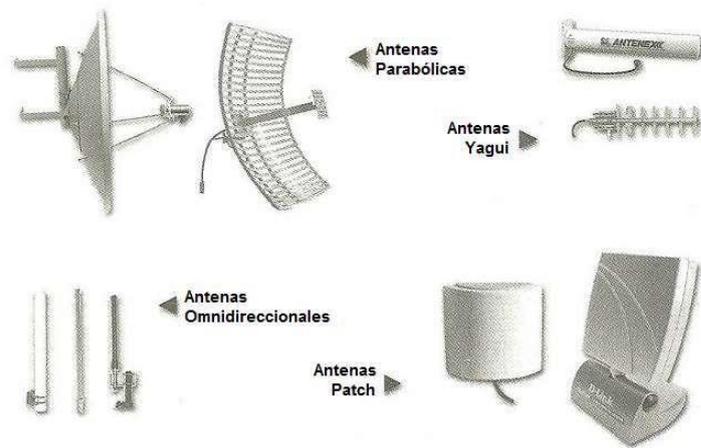


Figura 2.29. Tipos comunes de antenas [5].

Sumado a esto, es necesario conocer el patrón de radiación de los distintos tipos de antena para saber qué tipo de antena es el más adecuado para el propósito definido, esto va de la mano con la determinación de una correcta posición y ubicación de la antena para que irradie su propagación adecuadamente [5].

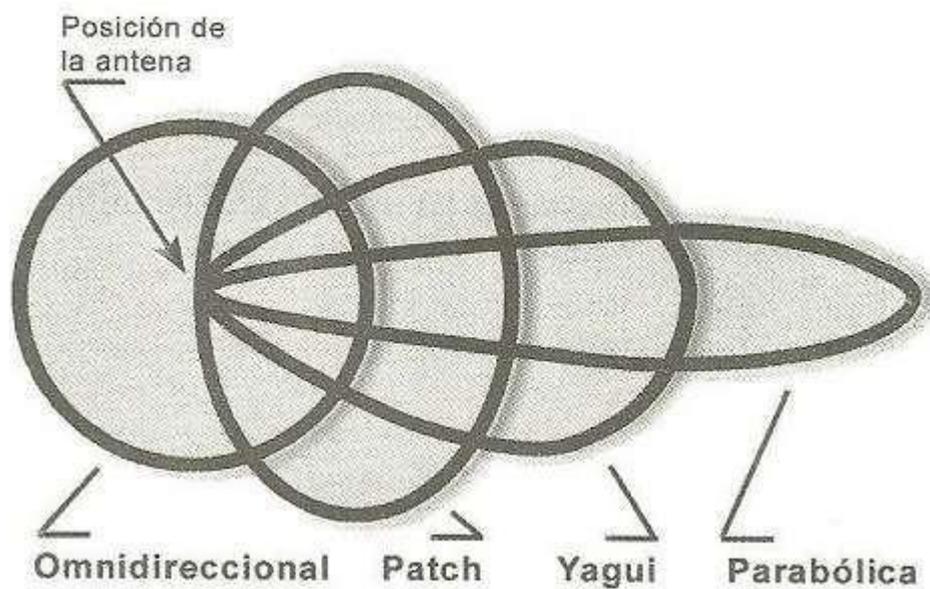


Figura 2.30. Lóbulo principal de propagación de antena [5].

## 2.39.6. Tipos de antenas.

### 2.39.6.1. Antenas sectoriales.

Son antenas con un amplio lóbulo principal, con el propósito de mejorar la ganancia de las antenas omnidireccionales, son muy útiles para sistemas punto a multipunto, específicamente en el lado de la estación base.

Las antenas sectoriales emiten un ancho de haz amplio, pero no tanto como lo haría una omnidireccional, a cambio que se logra un mayor alcance. El máximo de amplitud del haz de una antena sectorial es de  $120^\circ$ , por lo que para cubrir un área de  $360^\circ$  de largo alcance, sería necesario un arreglo de 3 antenas sectoriales, o en su defecto, se puede cumplir el mismo propósito haciendo uso de 4 antenas de  $90^\circ$ . [5]

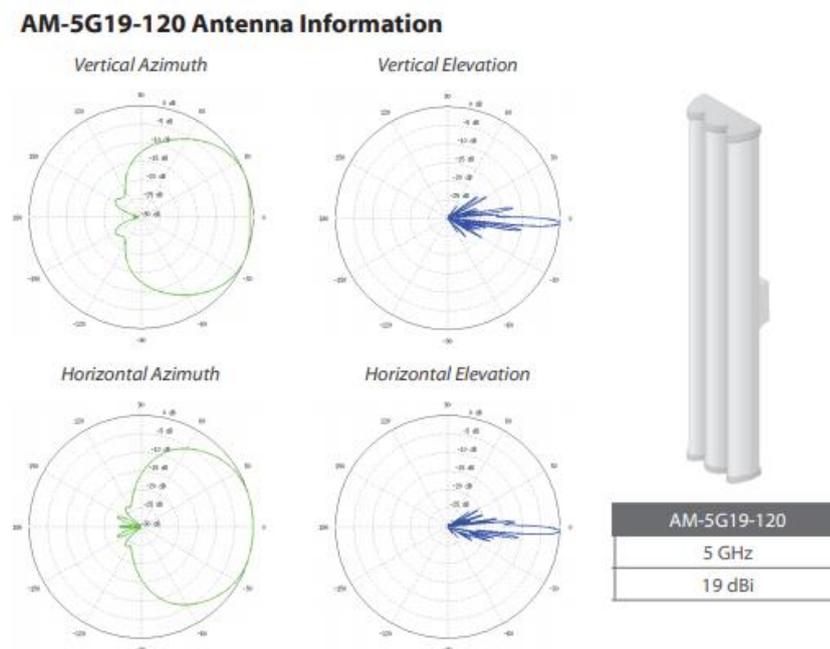


Figura 2.31. Diagrama Polar antena sectorial  $120^\circ$  [10].

### 2.39.6.2. Antenas omnidireccionales.

Las antenas omnidireccionales son aquellas que irradian en todas direcciones y también pueden captar la señal procedente de todas direcciones. Tienen un ángulo de  $360^\circ$  en el plano horizontal, tienen menor alcance y también son utilizados para enlaces multipunto del lado del transmisor, y estas se requieren enlaces cortos [5].

### AMO-5G13 Antenna Information

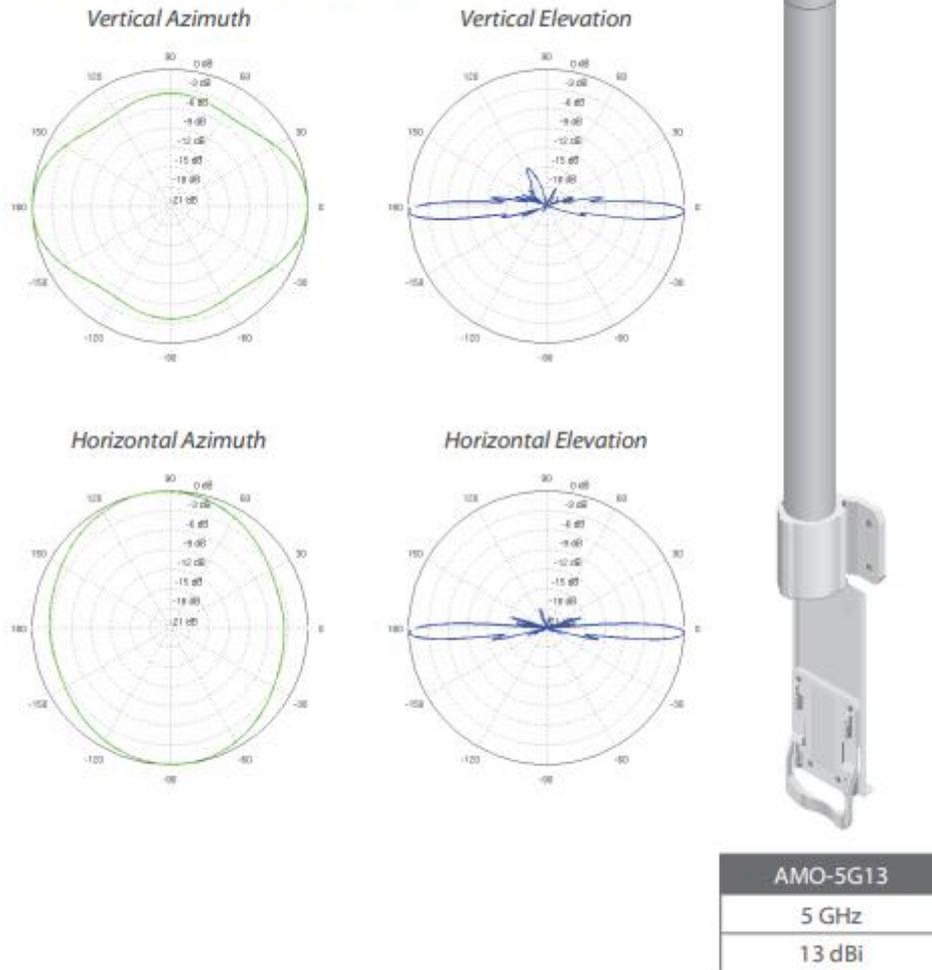


Figura 2.32. Diagrama Polar antenna omnidireccional [11].

#### 2.39.6.3. Antenas parabólicas.

Es el tipo de antena más adecuada para enlaces punto a punto gracias a su gran directividad y ganancia tan altas, son ideales para cubrir distancias de varios kilómetros de distancia.

Una desventaja es que usualmente son platos muy grandes, por lo tanto, su montaje es un poco complicado, además el efecto de3l viento puede llegar a afectar en el rendimiento general del sistema de comunicación, para mitigar esto, se utilizan unas mallas llamadas radomes, que son cubiertas de algún material dieléctrico cuyo único fin es proteger la antena [5].

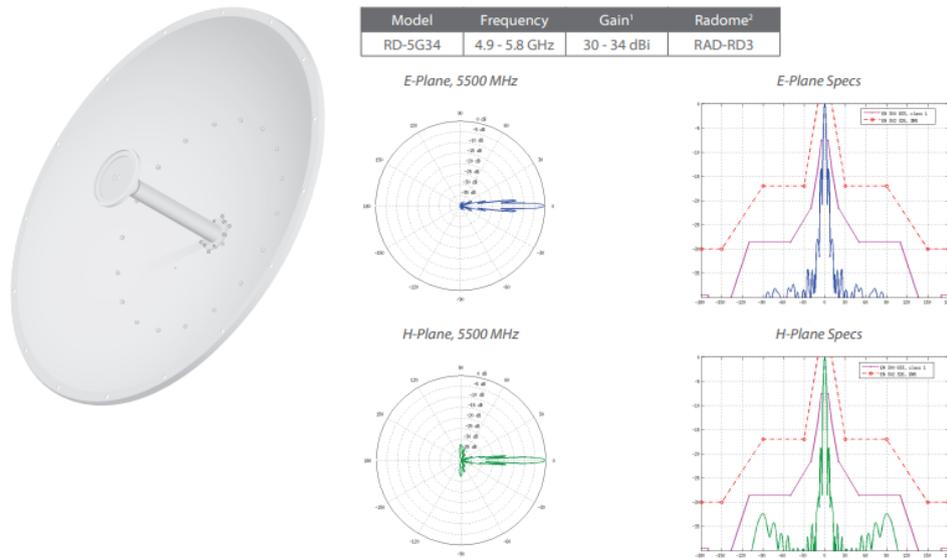


Figura 2.33. Diagramas antena direccional [12].

#### 2.39.6.4. Antenas de panel.

Son aquellas antenas que internamente poseen una placa de circuito impresa de cobre u otro material conductor, con un diseño que hace las funciones de elemento activo de la antena [5].

Tabla 2.2 Tabla comparativa de tipos de antena.

| Tipos de antena |                 |                  |               |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| Frecuencia      | Tipo            | Ancho de haz (°) | Ganancia (dB) |
| 5 GHz           | Sectorial       | 90               | 17            |
|                 |                 |                  | 20            |
|                 |                 | 120              | 16            |
|                 |                 |                  | 19            |
|                 | Omnidireccional | 360              | 10            |
|                 |                 |                  | 13            |
|                 | Parabólica      | 5                | 26            |
|                 |                 | 5,8              | 30            |
| 3               |                 | 34               |               |
| Panel           | 45              | 13               |               |
|                 | 43              | 16               |               |

## 2.40. Estación de equipo local de cliente (CPE).

Es el radio principal del cliente o la última milla, el cual se conecta de forma inalámbrica a una estación base (EB) [5].

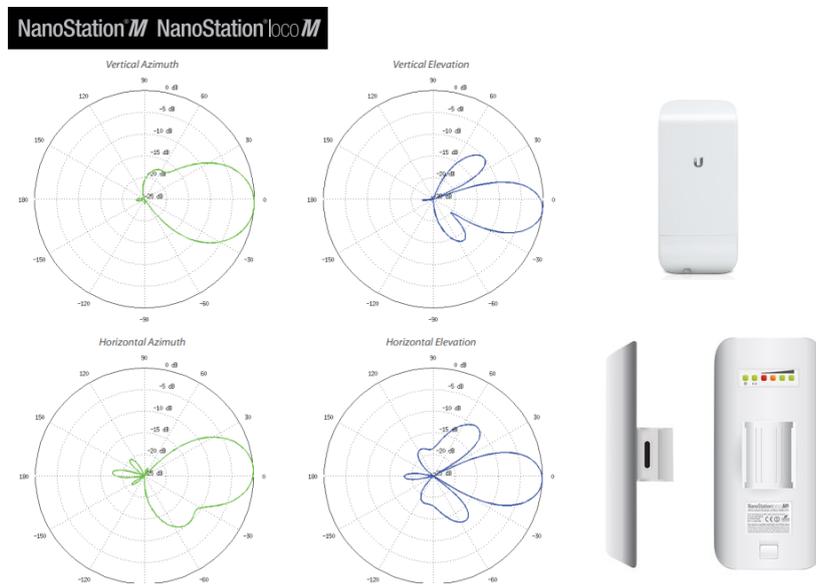


Figura 2.34. Ejemplo equipo CPE con antena de panel integrada [13].

## 2.41. Emisiones radioeléctricas.

Un aspecto muy importante y de gran discusión e interés en las telecomunicaciones, es el conjunto de leyes y seguimiento para el control de emisiones radioeléctricas, para asegurar a la población que la exposición a estos niveles de radiación está por debajo a los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud o alguna otra entidad de regulación y control como lo hace la ITU.

En Ecuador la entidad a cargo del cumplimiento de estas normas es la ARCOTEL (Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones).

## 2.42. Organismos de estandarización.

La ITU tiene una sección dedicada para estandarizar sistemas de telecomunicaciones, llamada ITU-T, diseñada para regularizar grandes sistemas de telecomunicaciones, sobre todo cableados, con sus interfaces y niveles de calidad a cumplir.

Así mismo existe otra sección dedicada a las radiocomunicaciones, la ITU-R, la cual brinda recomendaciones mas no estándares, a pesar de que en algunos casos la brecha es muy pequeña [7].

Por lo tanto, la ITU-R da recomendaciones que se suelen seguir de forma genérica para establecer terminologías comunes internacionalmente, definir los distintos servicios de radiocomunicación o calcular pérdidas de propagación. A cambio, para servicios como radioenlaces de servicio fijo las recomendaciones definen precisamente las distintas modulaciones y canales a utilizar [3].

Otra organización mundial de gran importancia es la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), organismo creado en EEUU en 1984, las actividades que más resaltan de este organismo son los estándares de redes de comunicaciones del apartado 802, en una sección de redes inalámbricas se encuentran:

- IEEE 802.10 – Seguridad.
- IEEE 802.11 – Redes inalámbricas.
- IEEE 802.15 – Bluetooth, wireless sensor networks.
- IEEE 802.16 – Redes de acceso metropolitanas sin hilos de banda ancha (WIMAX)
- IEEE 802.20 – Mobile broadband wireless access.
- IEEE 802.21 – Media independant handoff.
- IEEE 802.22 – Wireless regional area network.

Donde la más renombrada es la 802.11, bajo su nombre común wifi [7].

En Europa el organismo de estandarización de las Telecomunicaciones es la ETSI (European Telecommunication Stantardisation Institute) nacida en el año 1988. El estándar con mayor éxito notable de este organismo es GSM para la telefonía móvil de 2da Generación.

A nivel de Estados Unidos está el ANSI (North American Standards Institute), otros organismos de importancia a nivel mundial son ARIB (Association of Radio Industries and Bussiness), el TTC (Telecommunication Technology Committee) en Japón, la TTA (Telecommunications Technology Association) de Corea del Sur y el CWTS (Chinese Wireless Telecommunication Standard) de China [7].

## **Marco metodológico.**

### **3.1. Metodología experimental.**

La metodología experimental permite diseñar experimentos controlados con la finalidad de recopilar datos y sacar conclusiones de las observaciones y datos obtenidos, en el caso particular del proyecto de titulación se busca desarrollar destrezas prácticas en el estudiante pero a su vez también comprobar los contenidos teóricos de la materia Propagación, de esta forma se comprobará tanto las ecuaciones como los conceptos con las observaciones y datos obtenidos en las prácticas de simulación y de implementación.

Se plantea un diseño de prácticas para lo cual se realiza el estudio previo del software de simulación, para el caso de GNU Radio se escogió por ser una aplicación de software libre que presenta un programa de librerías y bloques de programación orientados para la explotación de Radio definida por software, así como permite la interacción con diferentes tipos de dispositivos lo cual permite integrar y aprovechar equipos de laboratorio, en GNU Radio se exploró tanto el ámbito para su instalación, la interacción con hardware y la forma de instalar complementos y finalmente como producto se realizó un analizador de espectro.

En cuanto a Radio Mobile fue escogido por su uso generalizado en el campo laboral, y por sus características en cuanto a los parámetros que permite configurar (parámetros de antena, patrones de radiación, tipos y modelos de antenas, mapas con características topográficas), lo cual da como resultado una simulación muy cercana a lo que se espera encontrar en la implementación.

### **3.2. Investigación de campo.**

Las metodologías de investigación no son incompatibles entre sí por lo cual para la elaboración del proyecto se ha hecho uso de la investigación de campo al tener que poner en práctica y en el campo no solo en el ambiente controlado de laboratorio, los contenidos para así lograr la maximización del aprendizaje tanto en las destrezas como en los contenidos.

Se realizó la implementación del enlace punto a punto entre dos troncales del servicio Aerovía para mostrar la operatividad de los equipos y también para relacionar los datos obtenidos en un ambiente real contra los datos obtenidos en simulación.

### **3.3. Procedimiento del proyecto.**

- Investigación inicial del proyecto.
- Estudio de hardware adecuado para utilizar en las prácticas.
- Estudio del software de simulación.
- Diseño de las prácticas de laboratorio y pruebas.

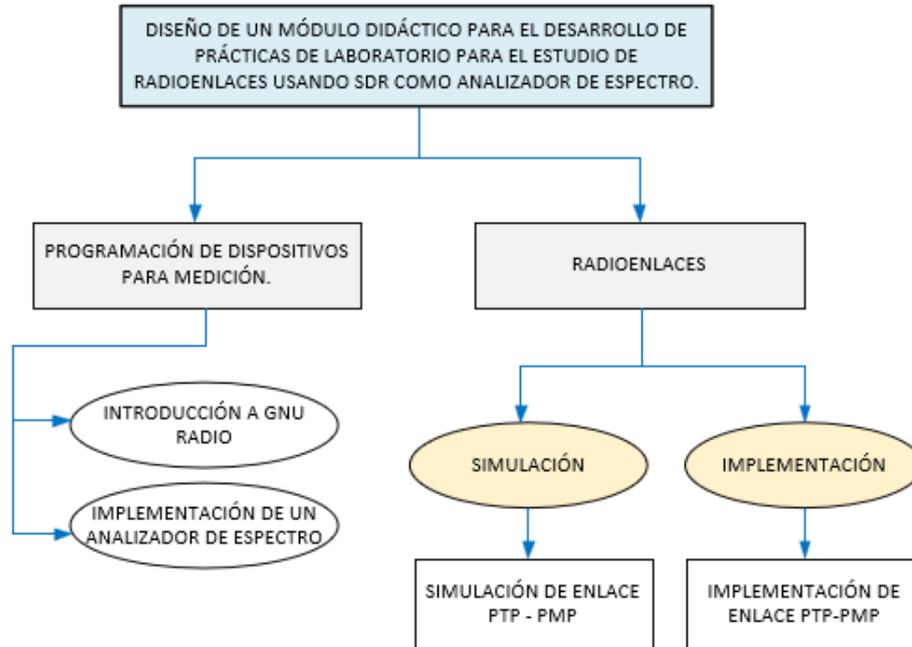


Figura 35. Diagrama de bloques.

Para la elaboración del proyecto se marcaron fases bien definidas de acuerdo a los objetivos del mismo, las cuales son fase de simulación y fase de implementación.

Dentro de la fase de simulación se analizó de forma particular cada herramienta de software para así poder explotar sus bondades,

Dentro del estudio de GNU Radio se encontró la complejidad de la interconexión del hardware con el software teniendo que en el desarrollo del proyecto cambiar de hardware para asegurar su interconexión, así como establecer el acceso permanente de GNU Radio a los puertos USB, para este caso particular el dispositivo se conecta en los puertos 3.0, el diagrama de conexión se muestra a continuación.

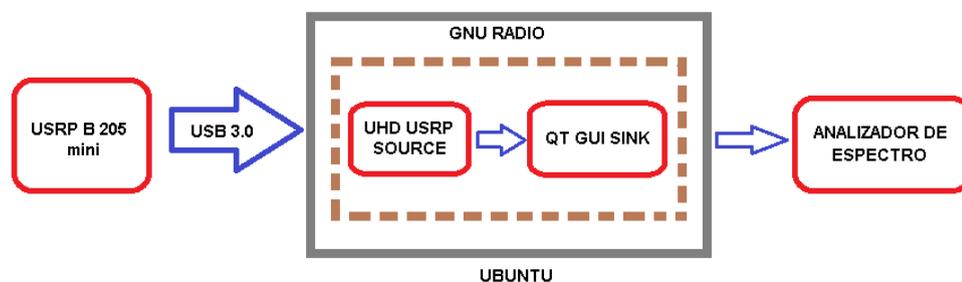


Figura 36. Diagrama de conexión hardware – software.

#### **3.4. Primera etapa (investigación inicial del proyecto).**

Se realiza una investigación previa donde se analiza el contenido teórico para elaborar un primer borrador de las prácticas a desarrollar, escogiendo además las aplicaciones de software adecuadas para los objetivos de las prácticas.

Se escoge GNU Radio por ser una plataforma de programación por bloques Open Source que ofrece oportunidades de conexión con dispositivos SDR ya sean estos de hardware libre o propietario, lo que permite un abanico de posibilidades para su ejecución.

Radio Mobile también es seleccionado debido a su uso extendido en el país para las simulaciones de radio enlaces que me ofrece soporte de mapas con referencias orográficas, su uso en la entidad de regulación ARCOTEL da la pauta de su uso extendido y la importancia que tiene su manejo.

#### **3.5. Segunda etapa (estudio de hardware adecuado para utilizar en las prácticas).**

Se realizó la evaluación de hardware que posibilite el estudio y la implementación de las prácticas para los equipos de radio enlace se escoge las antenas lite beam de ubiquiti para el enlace punto a punto y para el enlace punto multipunto se agrega la antena sectorial AM-5G19-120 y como transmisor la Rocket M5 de uso amplio y generalizado.

Para la implementación del analizador de espectro se escoge un equipo del laboratorio de telecomunicaciones el USRP B 205 mini, por su amplio espectro de trabajo, modo de transmisión full dúplex y su fácil integración con GNU Radio mediante la librería UHD, de la misma forma para la integración con el USRP se escoge una antena omnidireccional wifi dual band que me permite el análisis en la banda de transmisión de los equipos de comunicación.

#### **3.6. Tercera etapa (estudio de software de simulación).**

Se realiza el estudio del software de simulación, GNU Radio presenta la dificultad de que para aprovechar de mejor manera sus características, se debe implementar sobre una distribución de Linux. Se escoge Ubuntu en su versión 20.04 porque su sintaxis en línea de comando es más sencilla, aún si la instalación de los complementos necesarios para la conexión entre el hardware y GNU Radio es compleja para este caso el paquete UHD permite la interconexión con los módulos USRP de National Instruments.

#### **3.7. Cuarta etapa (diseño de las prácticas de laboratorio y pruebas).**

Se realiza la elaboración de las prácticas, su implementación y pruebas de los equipos, así como la diagramación de las prácticas de simulación para definir los objetivos y alcances de las mismas.

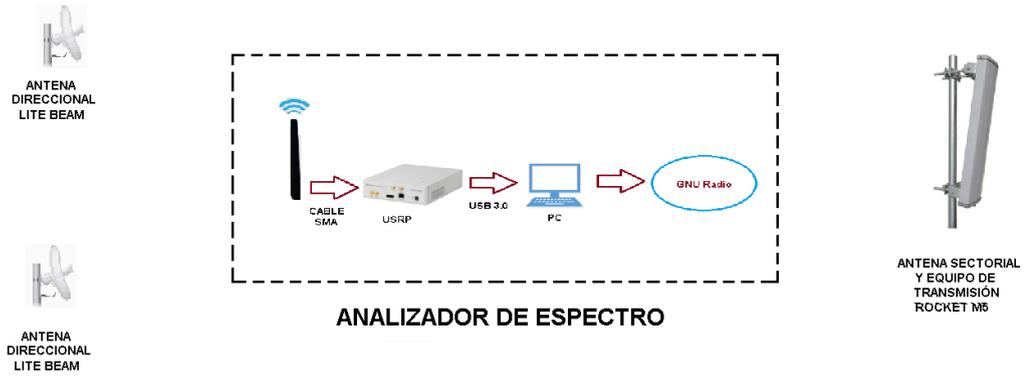


Figura 37. Diagrama de conexión hardware – software integrado.

## Resultados.

La generación de resultados es un manual de prácticas diagramadas para dotar al estudiante de medios para la comprobación de los contenidos observados en clase. Cada práctica en particular tiene una estructura que permite el trabajo autónomo como el trabajo asistido que pueden ser desarrollados en conjunto con el docente o de forma individual.

Para las prácticas propuestas en cuanto al uso de dispositivos SDR y GNU Radio el resultado final es un analizador de espectro el cual se lo prueba en una parte de la banda FM, en la banda wifi 2.4GHz y 5Hz.

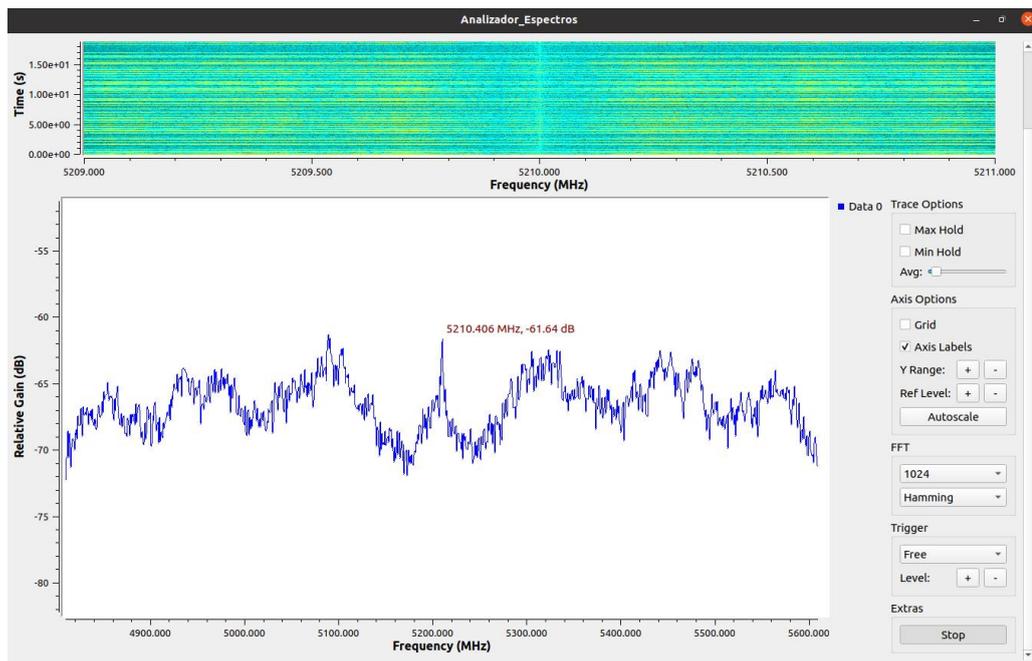


Figura 38. Analizador de espectro 5Ghz con enlace multipunto activo.

En la figura superior se aprecia la ejecución del analizador de espectro con el enlace activo a 5 GHz. con lo cual se verifica el funcionamiento del analizador de espectro diseñado en GNU Radio.

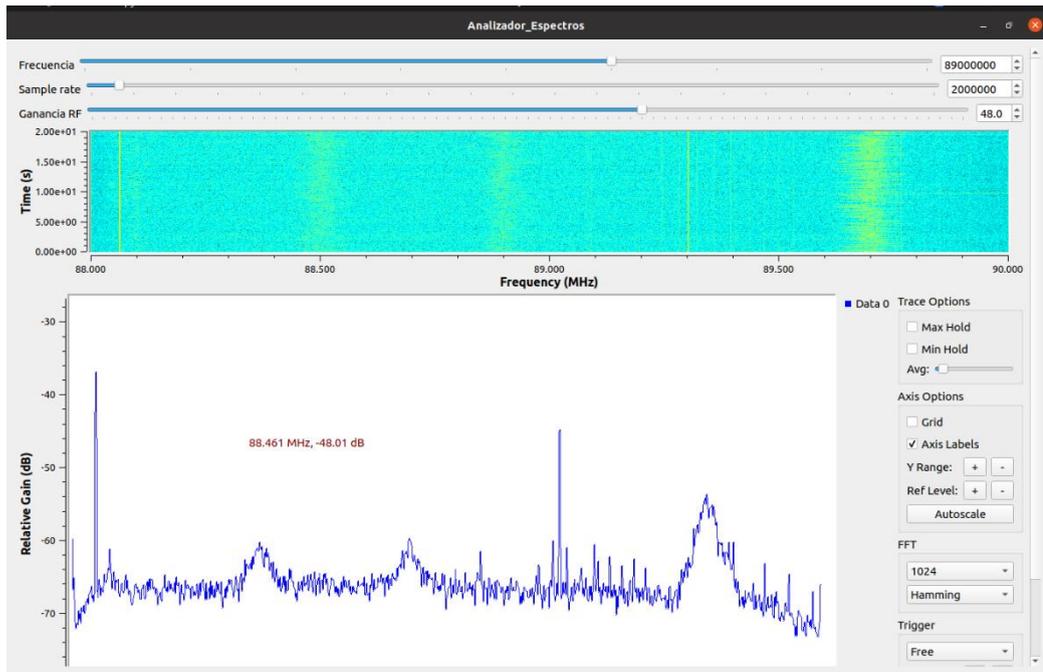


Figura 39. Analizador de espectro banda FM 88.9 MHz.

Se muestra en el gráfico la ejecución del analizador de espectro para un segmento de la banda FM comprendida entre los 88MHz y los 90 MHz.

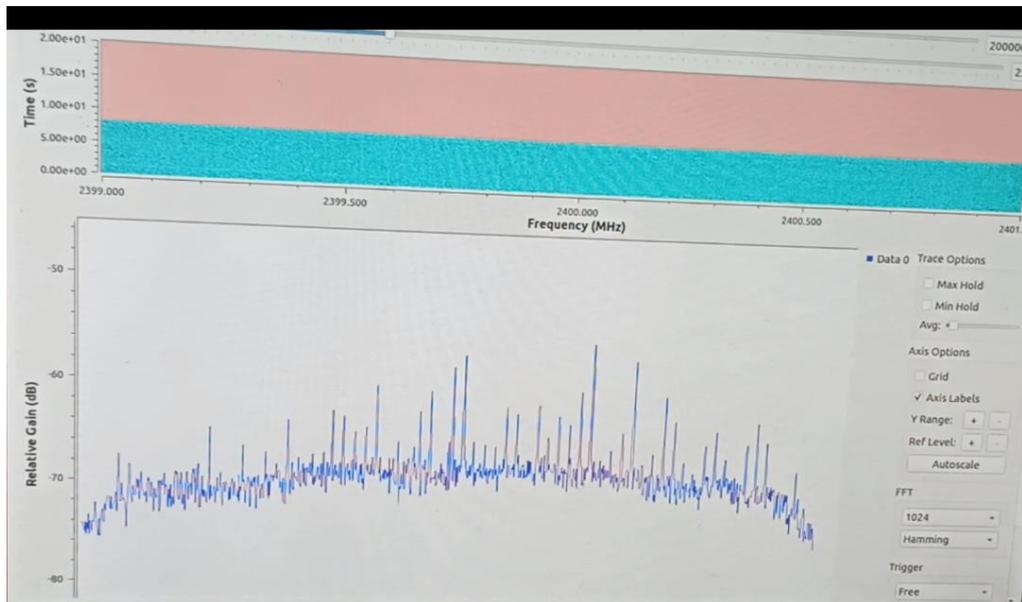


Figura 40. Analizador de espectro 2.4 GHz.

La ilustración muestra la ejecución del analizador de espectro en la banda de 2.4 GHz con un router y equipos de conexión domiciliaria encendidos y trabajando en esa frecuencia.

Para las prácticas de simulación de radioenlaces y la implementación se propone como prueba del experimento un enlace real entre dos estaciones del sistema aerovía ubicadas en las riberas del río Guayas, la primera en la estación 4 mosqueteros en Guayaquil, y la segunda en la estación Durán.

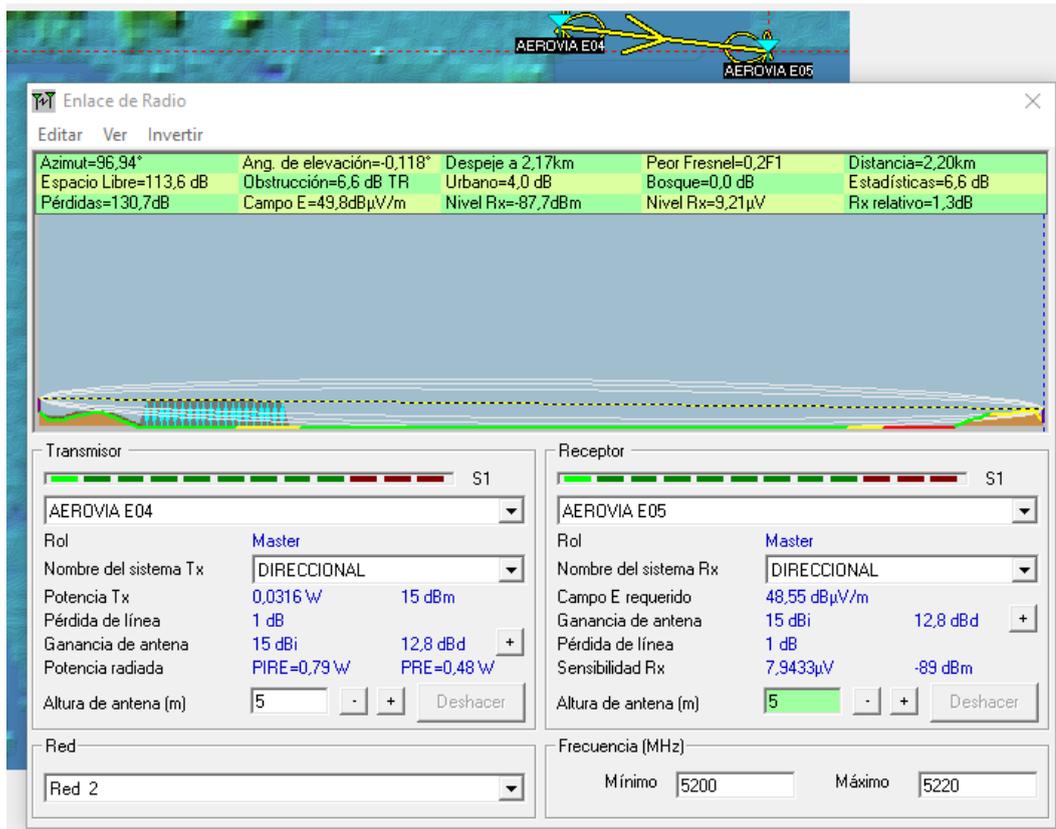


Figura 41. Prueba de práctica de simulación de enlace en Radio Mobile entre estación 4 mosqueteros y estación Durán.

En la imagen se observa la simulación en Radio Mobile de un enlace punto a punto entre las ubicaciones de las estaciones del sistema aerovía ubicadas en los extremos del río Guayas.

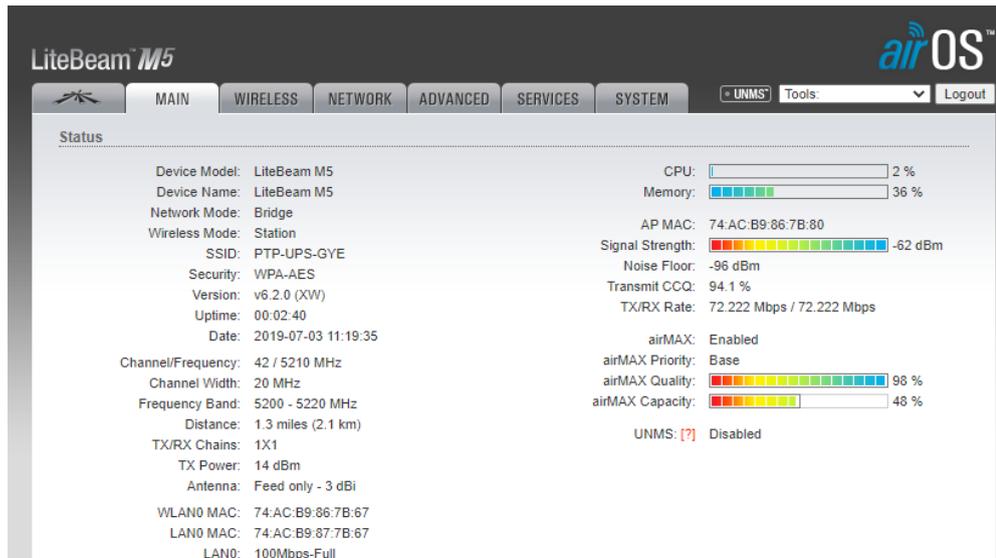


Figura 42 Enlace establecido revisado desde la herramienta de ubiquiti.

Se muestra en la imagen el enlace real establecido mediante la herramienta que brinda el proveedor del equipo, esta herramienta entrega información acerca del estado de la conexión potencia del transmisor y receptor.

```

C:\Windows\system32\CMD.exe

C:\Users\AlanCasquete>ping 192.168.1.221

Haciendo ping a 192.168.1.221 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.221: bytes=32 tiempo<1m TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.1.221:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms

C:\Users\AlanCasquete>ping 192.168.1.222

Haciendo ping a 192.168.1.222 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.222: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.222: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.222: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.222: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.1.222:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 1ms, Máximo = 4ms, Media = 2ms

C:\Users\AlanCasquete>

```

Figura. 43. Pruebas de ping entre las antenas ubicadas en aerovía.

Una forma práctica de probar si el enlace está establecido es ejecutar un comando ping desde un equipo al otro para verificar si hay respuesta del mismo, con lo cual se prueba que los equipos se están comunicando.

Los resultados de las pruebas se compilan en un conjunto de siete prácticas de laboratorio donde se muestra la instalación, configuración, manejo de equipos y pruebas para el desarrollo por parte del estudiante en conjunto con el docente o asistente de laboratorio, a su vez los equipos utilizados se agrupan en un diseño modular para su uso didáctico en las prácticas de laboratorio.

En los resultados que se muestran se puede apreciar el funcionamiento de un analizador de espectro a través de GNU Radio y un USRP, de esta forma se puede integrar equipos ya existentes en el laboratorio para ampliar su uso a través de las prácticas.

#### **4.1. Prácticas propuestas.**

##### **4.1.1. Práctica 1. Introducción a la programación de dispositivos SDR y GNU Radio.**

##### **4.1.2. Objetivo general.**

Generar las bases para el uso de dispositivos SDR y GNU Radio.

##### **4.1.3. Objetivos específicos.**

- Instalar el software GNU Radio en el pc del laboratorio o laptop personal.
- Interactuar adecuadamente con el software de simulación.
- Ejemplificar el uso de dispositivos SDR con GNU Radio.

Mediante el desarrollo de esta práctica el estudiante podrá tener un primer acercamiento con GNU Radio, su instalación desde cero incluyendo pasos previos como la instalación de Ubuntu en una máquina virtual o laptop personal y se propone un ejemplo para establecer ese primer acercamiento con el software de simulación.

##### **4.2. Práctica 2. Diseño e implementación de un analizador de espectro usando GNU Radio.**

##### **4.2.1. Objetivo general.**

Diseñar un analizador de espectro usando bloques de programación en GNU Radio.

##### **4.2.2. Objetivos específicos.**

- Instalar los complementos necesarios para utilizar el hardware apropiado.
- Interactuar adecuadamente con el software de simulación y el hardware escogido para la implementación de un analizador de espectro.

La implementación de esta práctica dotará al estudiante de capacidades para interconectar GNU Radio con dispositivos SDR como el USRP B 205 mini y mediante la programación de bloques generar un prototipo de analizador de espectro.

#### **4.3. Práctica 3. Introducción a simulación para enlaces inalámbricos en Radio Mobile.**

##### **4.3.1. Objetivo general.**

Simular un sistema de comunicación inalámbrico mediante el software Radio Mobile entre 2 puntos específicos de la ciudad de Guayaquil.

##### **4.3.2. Objetivos específicos.**

- Instalar el software en el pc del laboratorio o laptop personal.
- Interactuar adecuadamente con el software de simulación.
- Simular un enlace punto a punto de media distancia.

A través de este desarrollo curricular se espera que el estudiante encuentre en Radio Mobile una herramienta de simulación para establecer radio enlaces en la cual tomando en consideración todos los parámetros que posee el software como son los parámetros del enlace sino también los parámetros de antenas, patrones de radiación, entre otros y visualice de mejor manera la relación e importancia que cada uno de ellos le aportan al proceso del radio enlace.

#### **4.4. Práctica 4. Simulación enlaces punto – punto y punto – multipunto.**

##### **4.4.1. Objetivo general.**

Establecer un presupuesto de enlace inalámbrico reconociendo los distintos componentes y valores necesarios para su óptimo funcionamiento considerando aspectos básicos de pérdidas de propagación.

##### **4.4.2. Objetivos específicos.**

- Calcular los parámetros básicos de una antena.
- Reconocer el procedimiento básico de diseño de un radioenlace y sus parámetros.
- Establecer un presupuesto de radioenlace tomando ubicaciones geográficas reales y confirmar su viabilidad.

Con las actividades de la práctica propuesta el estudiante estará en capacidad para elaborar simulaciones punto a punto o punto multipunto con coordenadas reales contemplando la orografía del lugar y usando parámetros de antenas reales, para generar un estudio muy cercano a la implementación real.

#### **4.5. Práctica 5. Introducción al manejo de equipos de radioenlace.**

##### **4.5.1. Objetivo general.**

Configurar un radioenlace real mediante el empleo de antenas adecuadas para este tipo de comunicación, estudiar y comprender sus características, identificar los equipos en puntos específicos dentro de la zona correspondiente a la Universidad Politécnica Salesiana.

##### **4.5.2. Objetivos específicos.**

- Reconocer parámetros y características de equipos y antenas.
- Verificar parámetros de propagación.
- Establecer los puntos de ubicación de las antenas en la UPS-GYE.
- Realizar cálculos teóricos del enlace.

Los objetivos de esta práctica ponen al estudiante en contacto con equipos de radio enlace y las técnicas para su configuración, así como un acercamiento al establecimiento de radioenlaces, hace énfasis en relacionar la conexión con el reconocimiento de parámetros de antenas.

#### **4.6. Práctica 6. Implementación de enlace punto - punto con antenas a 5 GHz.**

##### **4.6.1. Objetivo general.**

Establecer un radioenlace real mediante el empleo de antenas de la marca ubiquti, situando los equipos en puntos específicos dentro del perímetro urbano.

##### **4.6.2. Objetivos específicos.**

- Verificar parámetros básicos de propagación.
- Establecer los puntos de ubicación de las antenas.
- Realizar una simulación del enlace inalámbrico a establecer.
- Configurar e instalar las antenas.

La diagramación de la práctica permite al estudiante realizar un enlace punto a punto usando los equipos proporcionados para el laboratorio en una frecuencia de 5GHz, mostrando su configuración y formas de probar el establecimiento del enlace y entendiendo la relación que hay con los parámetros de antenas.

#### **4.7. Práctica 7. Implementación de enlace punto - multipunto con antenas a 5 GHz.**

##### **4.7.1. Objetivo general.**

Establecer un radioenlace real mediante el empleo de antenas de la marca Ubiquiti, situando los equipos en puntos específicos dentro de la zona correspondiente a la Universidad Politécnica Salesiana.

##### **4.7.2. Objetivos específicos.**

- Reconocer el tipo de antenas que se van a emplear.
- Verificar parámetros básicos de propagación.
- Establecer los puntos de ubicación de las antenas.
- Configurar e instalar las antenas.

La diagramación de la práctica permite al estudiante realizar un enlace punto a multipunto usando los equipos proporcionados para el laboratorio en una frecuencia de 5GHz, mostrando su configuración y formas de probar el establecimiento del enlace y entendiendo la relación que hay con los parámetros de antenas.

## Análisis de resultados.

### 5.1. Analizar el software de simulación de radioenlaces para el desarrollo de prácticas.

El análisis de software se desarrolló de forma paralela con las prácticas de simulación, mientras se iba analizando las interacciones que ofrece GNU Radio y el análisis y comprensión de su programación por bloques diseñada para el desarrollo de aplicaciones SDR se cuenta como una ventaja del uso de GNU Radio, así como también su plataforma de software libre, su interacción con hardware de distintos proveedores (USRP por ejemplo en este caso) lo cual amplía y permite aprovechar el uso de esta herramienta con equipos preexistentes en los laboratorios.

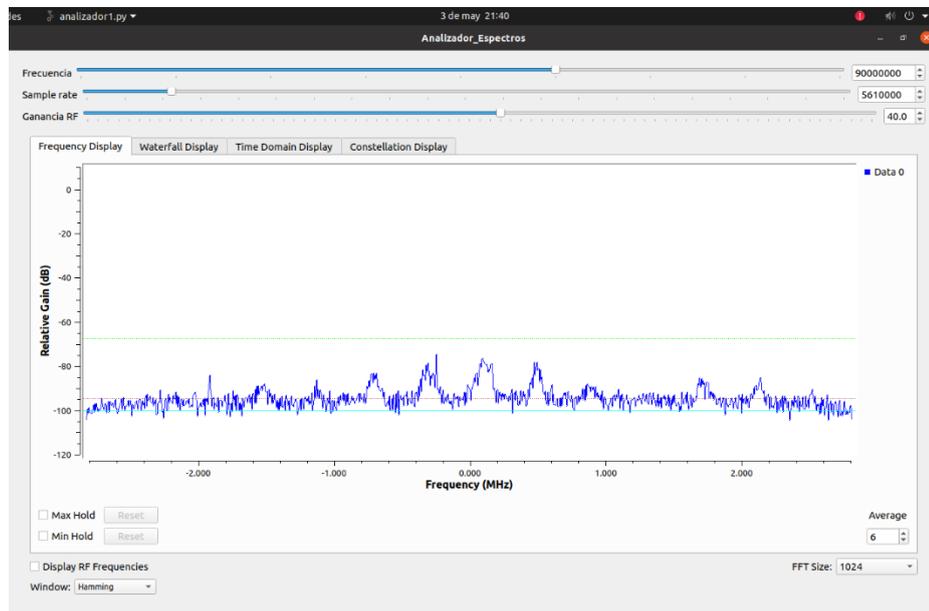


Figura 44. Ejecución del analizador de espectro GNU Radio.

En cuanto a Radio Mobile presenta una instalación un tanto compleja, sin embargo, una vez instalado y cargado los mapas de la región a revisar el manejo del mismo es muy intuitivo y su explotación ofrece una gran cantidad de parámetros configurables siendo particularmente amplio con los parámetros de antenas. El resultado de la simulación presenta una relación proporcional con lo que ocurre en la aplicación real del radio enlace por lo cual es una herramienta con una precisión aceptable.

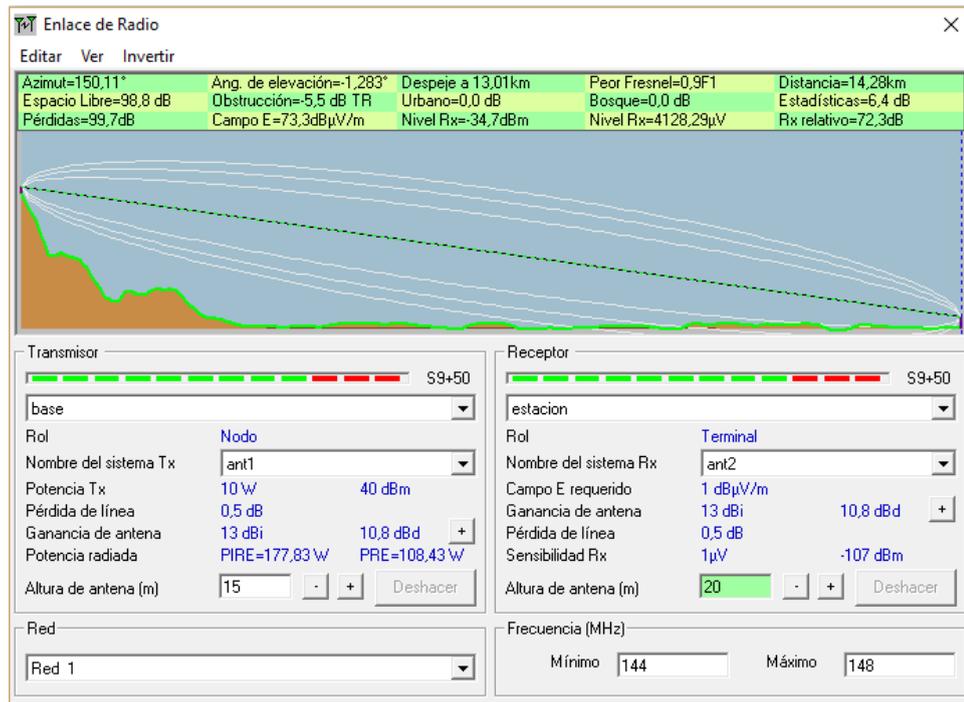


Figura 45. Resultado de simulación Radio Mobile.

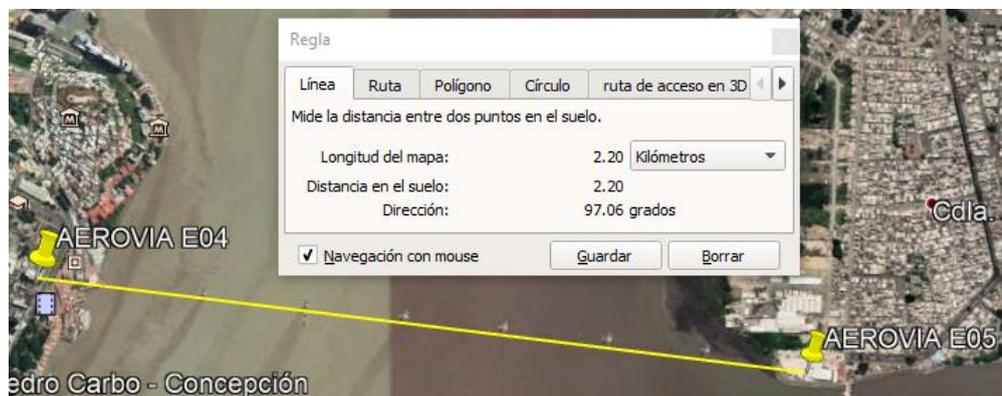


Figura 46. Distancia del enlace punto a punto simulación.

Por lo tanto, GNU Radio como Radio Mobile ofrecen al desarrollo práctico herramientas versátiles para las prácticas de simulación, si bien en algunos casos sus procesos de instalación son algo tediosos, esto se ve recompensado con su calidad en el desarrollo, opciones de programación y su uso generalizado tanto en la investigación (GNU Radio), como en el campo técnico (ARCOTEL usa de forma permanente Radio Mobile para el análisis y aprobación de permisos) por lo cual su uso se recomienda para la elaboración del presente programa de prácticas.

## 5.2. Desarrollar un sistema de prácticas dentro del cual se establezca la relación entre el estudio teórico, la simulación y el desarrollo práctico.

Con el análisis previo del software para simulación y de los equipos previstos, se elabora un programa de siete prácticas, tres para el ámbito de simulación, una de manejo de equipos y tres más en la implementación de los radioenlaces. En el tema de simulación las dos primeras prácticas se desarrollan con el software GNU Radio, aquí se explora su instalación, configuración y la introducción al manejo y en la segunda se elabora un analizador de espectro con el cual se pretende medir el espectro cuando se establezca el enlace, se comprueba como cambia el espectro en la banda de transmisión de la antena cuando se establece el enlace.

Se realiza el análisis en banda FM y se realiza una comparación con la aplicación GQRX también desarrollada en GNU Radio por el fabricante el cual es un analizador de espectro alrededor de 88.9 MHz para verificar que el analizador esté en condiciones aceptables.

Luego se realiza un análisis en Wifi 2.4 GHz y en la banda de transmisión de las antenas 5 GHz con los equipos desconectados y posterior con los equipos conectados para verificar el impacto de los equipos en el espectro analizado, se ven cambios evidentes en el diagrama de frecuencia y de cascada.

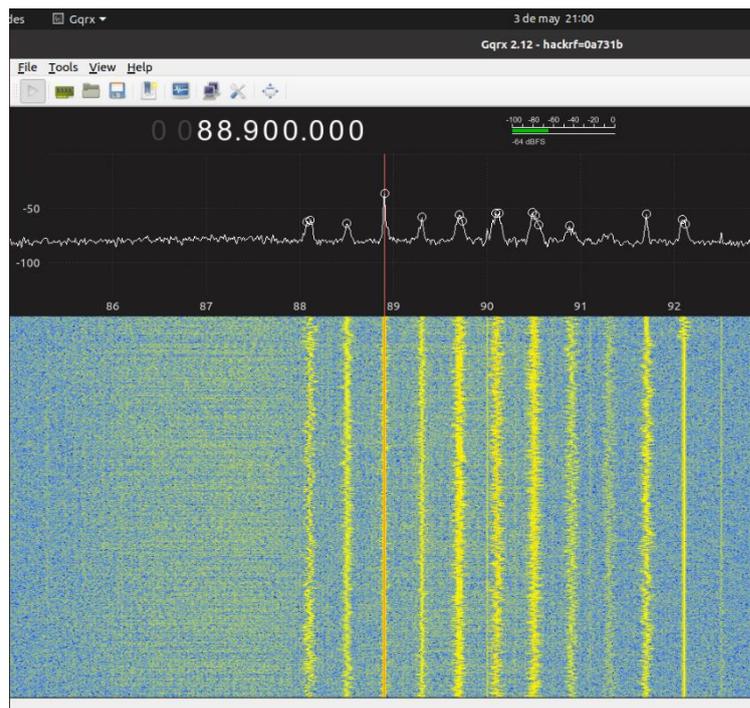


Figura 47. Ejecución en GQRX de analizador de espectro en banda FM.

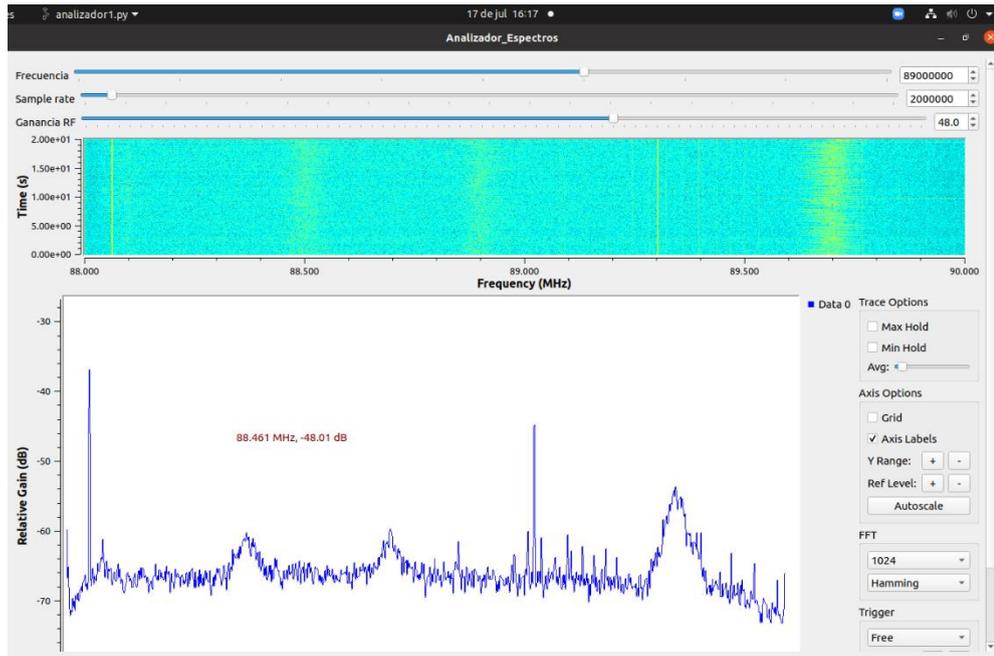


Figura 48. Ejecución del analizador de espectro GNU Radio.

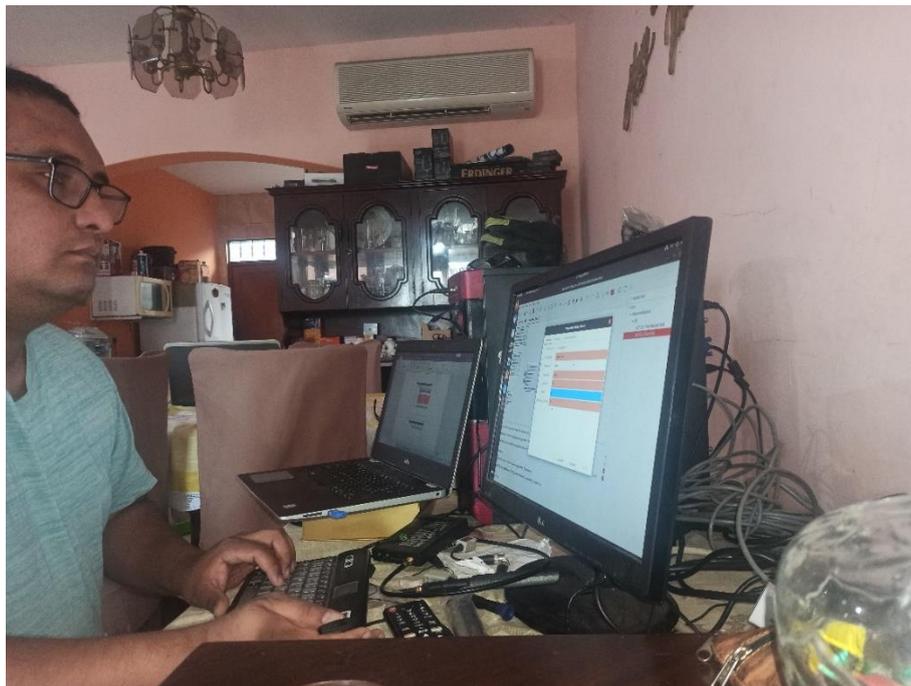


Figura 49. Configuración de bloques en GNU Radio.

En la tercera práctica se usa Radio Mobile para establecer una simulación de un radioenlace punto a punto y punto multipunto en la práctica se establece la comparación con un enlace teórico tomando en consideración los parámetros de antenas, pérdidas en cables y conectores, pérdidas en el espacio libre según el análisis teórico dentro de lo cual Radio Mobile ofrece la potencialidad de incluir

dentro del análisis el patrón de radiación, parámetros de antenas y pérdidas para que la simulación se acerque mucho al resultado en la implementación real.

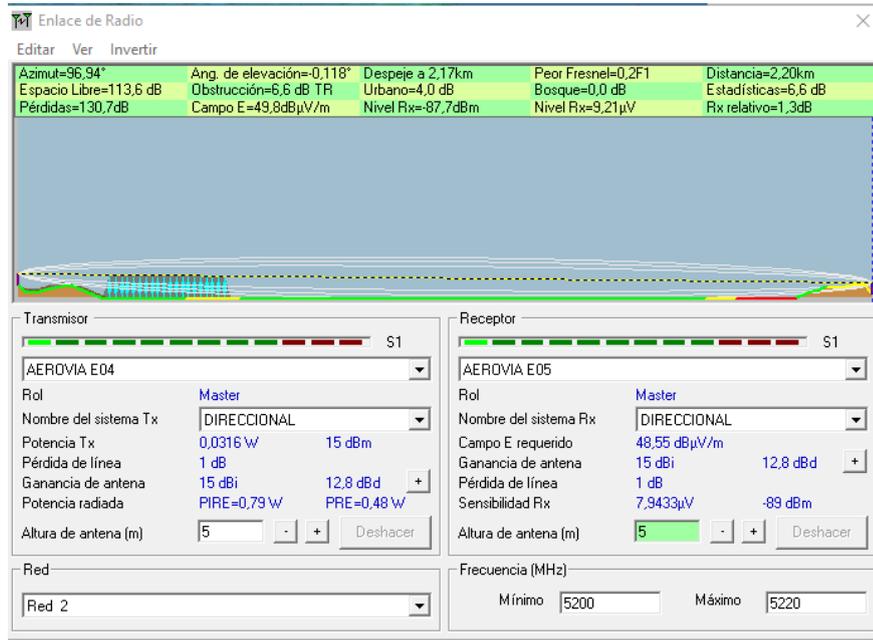


Figura. 50 Simulación en Radio Mobile.

Para las prácticas de implementación y de uso de equipos se muestra la conexión y configuración de los equipos, formas de establecer el enlace y pruebas del enlace, se realiza de forma exitosa un enlace de 2.1 Km a ambos lados del río Guayas entre estaciones del sistema aerovía. En la práctica se plantea realizar el enlace entre las terrazas de los edificios B y D del campus centenario, para lo cual el estudiante debe realizar la simulación, el cálculo teórico y la implementación del enlace validando los resultados entre los tres análisis propuestos.

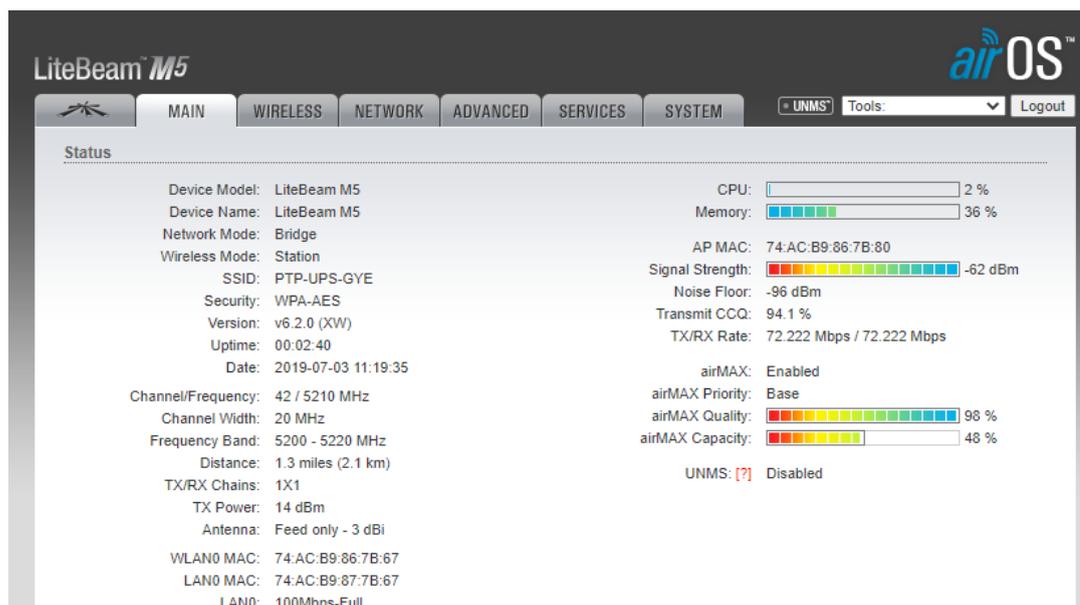


Figura. 51 Enlace establecido revisado desde la herramienta de Ubiquiti.

- **Presupuesto de enlace teórico.**

El presupuesto de enlace teórico considera la pérdida del espacio libre, la pérdida de cables y conectores típicas, éste da una idea acerca de cuál será el margen de enlace para el receptor por lo cual es un análisis previo indispensable, en algunos casos de acuerdo a la orografía el tipo de entorno sea éste urbano o rural, se debe realizar análisis adicionales o cambiar el modelo de propagación para ajustar este presupuesto.

$$L_{bf} = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

$$L_{bf} = 20 \log \left( \frac{4\pi(2100m)}{f/c} \right)$$

$$L_{bf} = 20 \log \left( \frac{4\pi(2100m)}{5.2 \times 10^9 \text{Hz} / 3 \times 10^8 \text{m}} \right)$$

$$L_{bf} = 113 \text{ dB}$$

$$PIRE \text{ TX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{CC}$$

$$P_{TX} = 14 \text{ dBm} \rightarrow 14 \text{ dBm} - 30 = -16 \text{ dB}$$

$$G_{TX} = 15 \text{ dBi}$$

$$L_{CC} = 1 \text{ dB}$$

$$PIRE \text{ TX} = -16 \text{ dB} + 15 \text{ dB} - 1 \text{ dB}$$

$$PIRE \text{ TX} = -2 \text{ dB}$$

$$P_{TX} = PIRE + G_{TX} - L_{bf} - L_{CC}$$

$$P_{TX} = -2 \text{ dB} + 15 \text{ dB} - 113 \text{ dB} - 1 \text{ dB}$$

$$P_{RX} = -101 \text{ dB}$$

$$P_{RX \text{ teórico}} = -101 \text{ dB} + 30$$

$$P_{RX \text{ teórico}} = -71 \text{ dBm}$$

$$P_{RX \text{ real}} = -96 \text{ dBm}$$

$$P_{RX \text{ simulado}} = -89 \text{ dBm}$$

$$E_{relativa} = \frac{|P_{RX \text{ real}} - P_{RX \text{ simulado}}|}{P_{RX \text{ real}}} \times 100\% = 7.86\%$$

Se observa una relación entre los resultados obtenidos de forma teórica ideal, pero sobre todo en el valor obtenido en la simulación e implementación, esto es un gran indicador para las prácticas propuestas en simulación y ejecución.

El análisis del presupuesto de enlace entre el simulado y el real tiene un error del 7.86% lo cual da una medida de eficiencia de la simulación en Radio Mobile.

### **5.3. Diseñar módulo didáctico para el estudio de sistemas de radioenlace para el uso de los estudiantes y docentes.**

Para la implementación se generó un kit de antenas para el módulo de aprendizaje cada una montada en un trípode para su traslado, colocación e independencia, se probó el enlace físico entre dos estaciones del sistema Aerovía uno ubicado en la estación 4 mosqueteros y la otra ubicada en el cantón Durán. Al mismo tiempo se hizo la simulación entre los mismos puntos. De forma local y por motivos de las restricciones debido a la pandemia se realizaron pruebas en la terraza de un domicilio.

Para las prácticas de simulación se usó una laptop personal y computadora de escritorio simulando el trabajo dentro del Laboratorio de Telecomunicaciones, se usa un kit de antenas omnidireccionales de 5GHz para conectar al USRP, junto con un set de cables SMA y adaptadores para los diferentes conectores.

Estos elementos se usan de forma modular para cada práctica, se indica en el documento de la práctica su uso, precauciones y modos de conexión para el aprovechamiento y cuidado de los equipos. En cuanto a las aplicaciones de software se indica su método de instalación, configuración y sus formas de uso para aprovechar y potenciar sus características.



Figura 52. Instalación de equipos en estación 4 mosqueteros aerovía.



Figura 53. Instalación de equipos en estación Durán aerovía.

#### **5.4. Diseñar un analizador de espectro usando SDR y software de simulación (GNU Radio).**

Para el diseño del analizador de espectro primero se estudió los bloques de programación que ofrece GNU Radio, se identifica que se puede establecer la interconexión con USRP mediante el uso de complementos como el driver UHD. A través de línea de comando se procede a verificar la conexión del equipo USRP a través del comando: `sudo uhd_find_devices`, esto dependerá de la distribución de Linux instalada en este caso Ubuntu.

La ejecución del comando dará como respuesta la información del dispositivo dentro de la cual es importante tomar en cuenta su número serial ya que con este se identificará el dispositivo en los bloques de programación en GNU Radio, además de la información técnica del dispositivo como su ancho de banda, frecuencia de operación, etc. El USRP B205 mini trabaja en un rango de frecuencias desde 50 KHz hasta 6 GHz con un ancho de banda que va desde los 200 KHz hasta los 56 MHz, es importante tener en cuenta estos rangos al momento de realizar la simulación.

De forma posterior se intensificó el estudio de los bloques de programación y de la misma manera se determinó el diagrama de conexión para lo cual se buscó una antena que permita el análisis dentro de las opciones se escoge una antena omnidireccional y se conecta al USRP, esto permitirá el ingreso de los datos acerca del espectro al pc mediante conexión USB 3.0 para que se procese en el analizador de espectro propuesto.

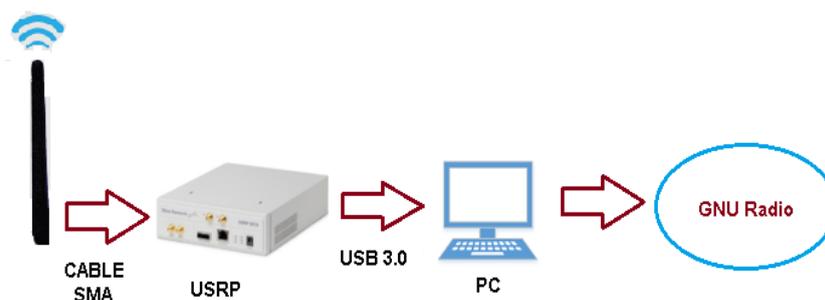


Figura 54. Diagrama de conexión para el analizador de espectro.

La programación por bloques consiste en la configuración de cada bloque de procesamiento. GNU Radio ofrece diferentes tipos de bloques en la programación, los principales son:

- **Los bloques de variables** Estos pueden ser fijos o variables dependiendo de la opción de valores que me permite asignar, así también dentro de la configuración del bloque me permite distintos tipos de opciones para cambiar el valor de la variable como son: un campo directo para editar, una barra y un dial. Los bloques de variables usados en el analizador son: frecuencia de muestreo, frecuencia, ganancia.
- **Los bloques de entrada:** En estos bloques permiten el ingreso de datos exteriores, que pueden ser de diferentes tipos: audio, video, o como en este caso la entrada del USRP que se realiza mediante el bloque UHD USRP Source. Es aquí donde se coloca el serial del dispositivo para indicar que éste será el dispositivo que proporcionará la entrada de los datos.
- **Bloque de procesamiento y salida:** De acuerdo al análisis propuesto hay diferentes tipos de bloques de salida, en este caso el análisis es de la frecuencia por lo cual usaremos los bloques QT GUI frequency sink y QT GUI waterfall sink, el primero me entrega un gráfico de frecuencia y el segundo un gráfico de cascada, el bloque además me permite el procesamiento a través del uso de la transformada rápida de Fourier la cuál es utilizada ampliamente en el procesamiento digital de señales.

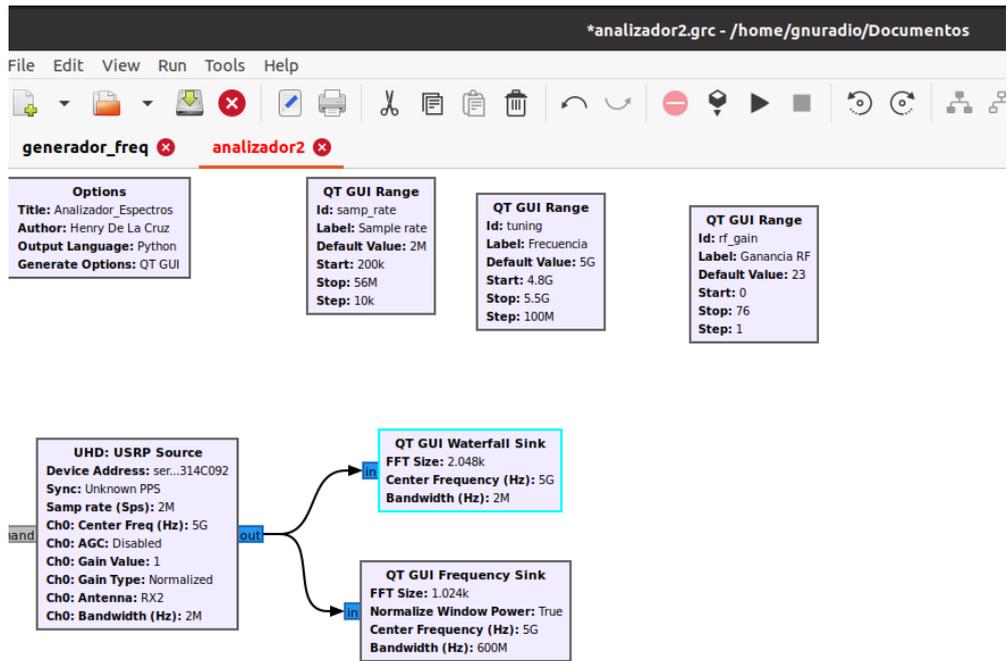


Figura 55. Diagrama de bloques del analizador de espectro.

Dentro de la configuración se varía las variables de ancho de banda, frecuencia de muestreo y frecuencia de acuerdo al segmento de espectro que se va a analizar,



Figura 56. Programación en GNU Radio y pruebas con USRP B 205 mini.

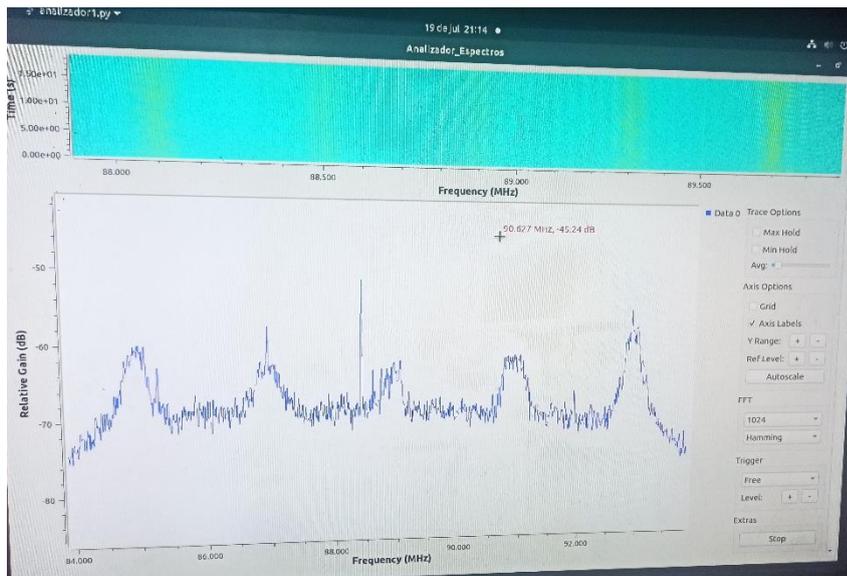


Figura 57. Analizador de espectro.

## **Conclusiones.**

Mediante el análisis del software de simulación Radio Mobile y GNU Radio se logra integrar los conocimientos teóricos con el desarrollo práctico se integran nuevas habilidades en la manipulación y simulación de sistemas sino también en el uso de plataformas de software para el desarrollo de prácticas de laboratorio con lo cual se cumple el primer objetivo que hace referencia el estudio del software de simulación de radioenlaces para el desarrollo de prácticas.

Se genera un programa de prácticas de desarrollo teórico, práctico y simulado donde se entrega al estudiante un manual donde encuentra introducción al manejo de software de simulación, introducción a la conexión física de dispositivos, bases de uso correcto de equipos e indicaciones de seguridad para precautelar el funcionamiento correcto de los mismos y su aprovechamiento dando cumplimiento al segundo objetivo que trata del desarrollo de un sistema de prácticas que incluyan tanto la parte teórica como la experimental.

Para cada práctica se diseña de forma modular los componentes tanto de software como hardware que son necesarios para su resolución, de tal forma que los componentes de hardware, software y el programa de prácticas forman en su conjunto el módulo didáctico para el estudio de radioenlace, esto permite cumplir el tercer objetivo que establece el diseño de un módulo didáctico para el estudio de radioenlaces.

Con el uso de GNU Radio se logra implementar y probar un analizador de espectro con conexión física con un dispositivo USRP, la programación en GNU Radio se torna predictiva por la estructura de bloques interconectados configurables el cuál al realizar una comparativa entre el analizador programado en GNU Radio y el mostrado en la aplicación GQRX se valora el porcentaje de precisión del analizador de espectro y de esta forma se cumple el cuarto objetivo que indica el diseño de un analizador de espectro en GNU Radio.

Al cumplir con cada uno de estos ítems se cumple el objetivo principal que establece el diseño de un módulo didáctico para el desarrollo de prácticas de laboratorio para el estudio de radioenlaces, creando un sistema de prácticas de carácter simulado, práctico y de implementación para el desarrollo de las habilidades del estudiante.

## **Recomendaciones.**

Es necesario durante el estudio previo escoger de forma adecuado tanto el software de simulación como el hardware ya que la complejidad de la conexión hardware – software en el caso de GNU Radio se debe a la instalación de los complementos para que se reconozca el hardware y en el caso de plataformas que funcionan sobre Linux, los repositorios digitales en ocasiones se editan o deshabilitan.

Para la ejecución de las prácticas de implementación se recomienda escoger ubicaciones adecuadas y seguras donde se pueda implementar el enlace y recopilar los datos, así como seguir las indicaciones de conexión para evitar daños en el equipo.

En cuanto a los equipos USRP se debe tener en consideración las velocidades de procesamiento para su conexión con el computador (puertos USB 2.0, 3.0) además de seguir las indicaciones de conexión ya que se podría causar daños en el equipo por ejemplo al encenderlo sin conectar la antena receptora o transmisora según sea el caso.

Se debe escoger de forma adecuada los bloques de procesamientos adecuados ya que para el caso particular al escoger el bloque QT GUI sink que agrupa los análisis de frecuencia y cascada no permitía actualizar los ejes de referencia, lo que se soluciona al separar los gráficos en 2 bloques de procesamiento distintos para cada análisis.

## Referencias Bibliográficas

- [1] J. Hernández, Diseño de enlace terrestre por línea de vista., México: Fac. Electrónica y Electricidad, ESIME, 2007.
- [2] W. Tomasi, Sistemas de comunicaciones Electrónicas, Phoenix: Pearson Education, 2003.
- [3] A. Llanos, Gestión del espectro radioeléctrico en Ecuador., Quito: Corp. Editora Nacional, 2013.
- [4] i.nupez, «espectro.org,» [En línea]. Available: <https://espectro.org.br/es/content/el-espectro-eletromagn%C3%A9tico>. [Último acceso: 5 diciembre 2020].
- [5] J. Yacelga, Estudio Factibilidad y diseño de una red inalámbrica ISP, para proveer servicio de internet en las comunicaciones de la cuenca del lago San Pablo, Quito: Fac. Ingeniería PUCE, 2017.
- [6] WNDN, Redes inalámbricas en los países en Desarrollo., 2013.
- [7] J. Murillo, Fundamentos de Radiación y Radiocomunicación, Sevilla: Ed. Universidad de Sevilla, 2012.
- [8] Siemon, «The Siemon Company,» 2015. [En línea]. Available: <http://files.siemon.com/int-download-catalogs-system-catalog/2015-siemon-full-catalog-emea.pdf>. [Último acceso: 21 enero 2021].
- [9] UBIQUITI, «DATASHEET ROCKET M5,» 2021. [En línea]. Available: [https://dl.ubnt.com/guides/Rocket\\_M\\_GPS/Rocket\\_M5\\_GPS\\_QSG.pdf](https://dl.ubnt.com/guides/Rocket_M_GPS/Rocket_M5_GPS_QSG.pdf).
- [10] UBIQUITI, «DATASHEET AM-5G19-120,» 2021. [En línea]. Available: [https://dl.ubnt.com/qsg/AM-5G19-120/AM-5G19-120\\_ES.html](https://dl.ubnt.com/qsg/AM-5G19-120/AM-5G19-120_ES.html).
- [11] Ubiquiti, «Catalogo web amo- 5g-13,» 2014. [En línea]. Available: [https://dl.ubnt.com/datasheets/airmaxomni/amo\\_ds\\_web.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/airmaxomni/amo_ds_web.pdf). [Último acceso: 21 marzo 17].
- [12] UBIQUITI, «DATASHEET RD-5g-34,» [En línea]. Available: [https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd\\_ds\\_web.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf). [Último acceso: 25 febrero 2021].
- [13] UBIQUITI, «DATASHEET NANO STATION M,» [En línea]. Available: [https://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm\\_ds\\_web.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm_ds_web.pdf). [Último acceso: 2 ABRIL 2021].
- [14] ETTUS, «DATASHEET USRP B 205 MINI,» 2021. [En línea]. Available: [https://www.ettus.com/wp-content/uploads/2019/01/USRP\\_B200mini\\_Data\\_Sheet.pdf](https://www.ettus.com/wp-content/uploads/2019/01/USRP_B200mini_Data_Sheet.pdf).
- [15] UBIQUITI, «DATASHEET LITEBEAM,» 2021. [En línea]. Available: [https://dl.ubnt.com/datasheets/LiteBeam/LiteBeam\\_ds.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/LiteBeam/LiteBeam_ds.pdf).
- [16] J. Huidobro, Comunicaciones por radio., Madrid: Grupo Editorial RA-MA, 2014.
- [17] W. Rivas, Estudio comparativo de las técnicas de acceso múltiple utilizadas en telefonía celular., San Salvador: Investigación UDB, 2015.
- [18] E. Yáñez, Modulación OFDM y sistemas ópticos, Quito: Universidad San Francisco, 2016.

## ANEXO A.

### Listado de materiales.

Tabla 3 Presupuesto de equipos.

Fuente: Autor.

| <b>Lista de equipos.</b>  |                 |
|---------------------------|-----------------|
| <b>Equipo</b>             | <b>Cantidad</b> |
| Rocket M5                 | 1               |
| Sectorial 5GHZ 16 DB 120° | 1               |
| Lite beam M5              | 2               |
| Trípode 1,5m              | 3               |
| Antenas para USRP         | 4               |
| Cable SMA                 | 2               |
| Pc                        | 1               |
| Rollo cable cat6          | 1               |

## ANEXO B.

### Especificaciones de las antenas y equipos.

#### Especificaciones USRP b 205 mini.

| Specification  | Typical   | Unit |
|--|-----------|------|
| <b>RF Performance<sup>3</sup></b>                    |           |      |
| IIP3 (at typical NF)                                 | -20       | dBm  |
| Power Output   | > 10      | dBm  |
| Receive Noise Figure                                 | < 8       | dB   |
| <b>Conversion Performance and Clocks<sup>3</sup></b> |           |      |
| ADC Sample Rate (Max.)                               | 61.44     | MS/s |
| ADC Resolution                                       | 12        | bits |
| DAC Sample Rate (Max.)                               | 61.44     | MS/s |
| DAC Resolution                                       | 12        | bits |
| Host Sample Rate (16b)                               | 61.44     | MS/s |
| Frequency Accuracy                                   | $\pm 2.0$ | ppm  |

Figura 1. Datasheet USRP B 205 MINI 1 [14].

| Specification                      | Typical           | Unit |
|------------------------------------|-------------------|------|
| <b>Power</b>                       |                   |      |
| USB Power                          | 5                 | V    |
| <b>Physical</b>                    |                   |      |
| Dimensions                         | 83.3 x 50.8 x 8.4 | mm   |
| Weight                             | 24.0              | g    |
| <b>Operating Temperature Range</b> |                   |      |
| B200mini                           | 0 – 40            | °C   |
| B200mini-i                         | 0 – 45            | °C   |
| B205mini-i                         | 0 – 45            | °C   |

Figura 2.58 Datasheet USRP B 205 MINI 2. [14]

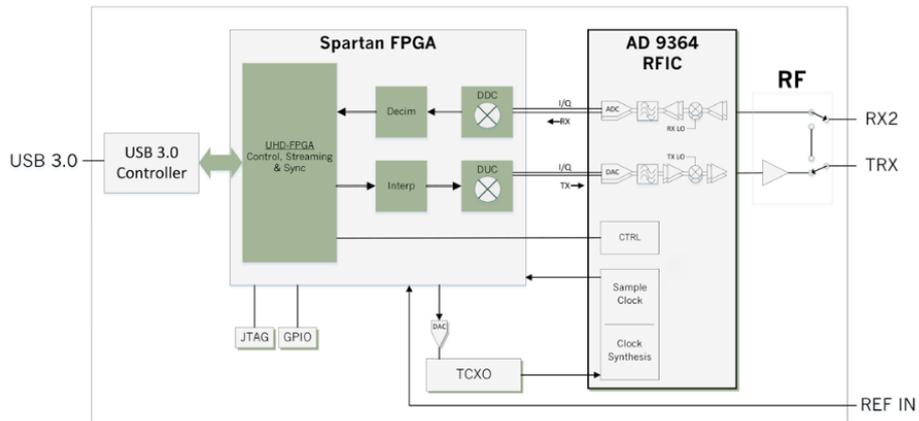


Figura3. Diagrama interno USRP B 205 MINI 1 [14].

### Especificaciones Rocket M5.

| RocketM5 GPS Specifications |                                       |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| Dimensions                  | 16 x 8 x 3 cm                         |
| Weight                      | 0.5 kg                                |
| Ports                       | (2) 10/100 Ethernet Port              |
| RF Connectors               | (2) RPSMA and (1) SMA (Waterproof)    |
| Enclosure                   | Outdoor UV Stabilized Plastic         |
| Max Power Consumption       | 8 Watts                               |
| Power Supply                | 24V, 1A PoE Supply Included           |
| Power Method                | Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7,8 Return) |
| Operating Temperature       | -30 to 75° C                          |
| Operating Humidity          | 5 to 95% Condensing                   |
| Shock and Vibrations        | ETSI300-019-1.4                       |
| Operating Frequency         | 5170 - 5875 MHz*                      |

Figura 4. Especificaciones Rocket M5 [9].

## Especificaciones Lite beam.

| LBE-5AC-23             |  |
|------------------------|--|
| Dimensions (No Mount)  | 362 x 273 x 203 mm<br>(14.25 x 10.75 x 7.99")      |
| Weight (No Mount)      | 907 g (2.00 lbs)                                   |
| Mounting Kit           | Pole Mounting Kit (Included)                       |
| Networking Interface   | (1) 10/100/1000 Ethernet Port                      |
| Memory                 | 64 MB  |
| Max. Power Consumption | 7W   |
| Max. TX Power          | 24 dBm   |
| Antenna Gain           | 23 dBi   |
| Operating Frequency    | Worldwide: 5150 - 5875 MHz<br>USA: 5150 - 5850 MHz |
| Power Supply           | 24V, 0.3A Gigabit PoE Adapter (Included)           |
| Power Method           | Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)             |
| Processor Specs        | Atheros MIPS 74Kc, 533 MHz                         |
| Operating Temperature  | -40 to 70° C (-40 to 158° F)                       |
| Operating Humidity     | 5 to 95% Noncondensing                             |
| Shock and Vibration    | ETSI300-019-1.4                                    |
| ETSI Specification     | EN 302 326 DN2                                     |
| ESD/EMP Protection     | ± 24 kV Contact / Air                              |
| Certifications         | FCC, IC, CE  |

Figura 559. Especificaciones Lite beam [15].

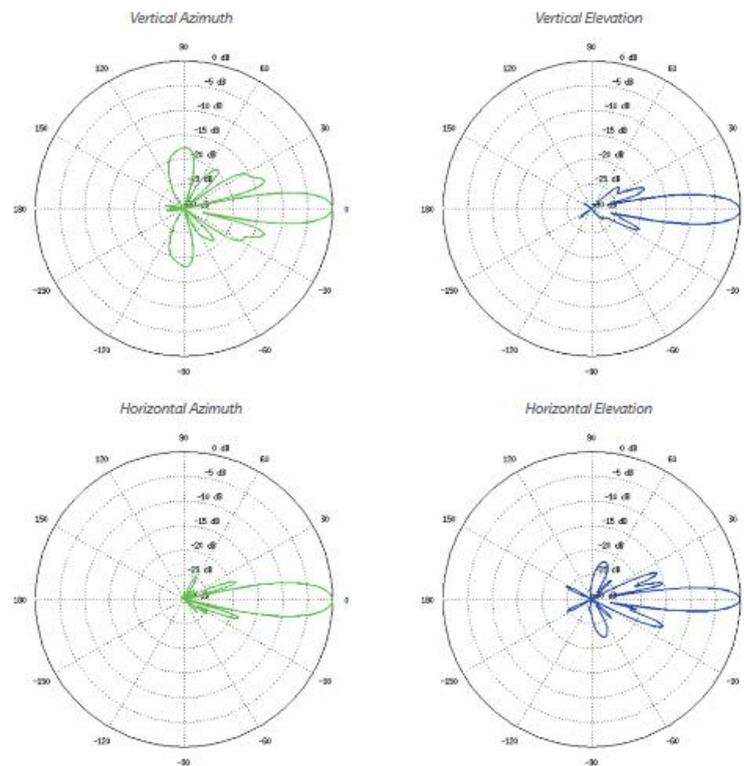


Figura.6. Patrón de radiación Lite beam [15].

### Especificaciones AM-5G19-120.

| AM-5G19-120                       |  |
|-----------------------------------|--|
| Dimensiones                       | 700 x 135 x 73 mm<br>(27,56 x 5,32 x 2,87")                                      |
| Peso (montaje incluido)           | 5,9 kg<br>(13 lb)  |
| Frecuencia                        | 5,15 - 5,85 GHz  |
| Ganancia                          | 18,6 - 19,1 dBi  |
| Amplitud HPOL                     | 123° (6 dB)  |
| Amplitud VPOL                     | 123° (6 dB)  |
| Amplitud de la elevación          | 4°   |
| Inclinación hacia abajo eléctrica | 2°   |
| VSWR máx.                         | 1,5:1  |
| Resistencia al viento             | 200 km/h<br>(125 mph)  |
| Carga de viento                   | 137,9 N a 200 km/h<br>(31 lbf y 125 mph)   |
| Polarización                      | Lineal doble   |
| Aislamiento de polaridad cruzada  | 28 dB min  |
| Especificación ETSI               | EN 302 326 DN2   |
| Montaje                           | Montaje en poste universal, soporte Rocket y cables<br>RF impermeables incluidos |

Figura 7.60 Especificaciones AM-5G19-120[10].

## ANEXO C.

### Acta de entrega de equipos

Por medio de la presente hago la constancia de entrega de equipos a la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil Campus Centenario, correspondientes al proyecto de titulación "Diseño de un módulo didáctico para el desarrollo de prácticas de laboratorio para el estudio de radioenlaces usando SDR como analizador de espectro" detallados en la lista a continuación:

| Equipo                                       | Cantidad |
|--|----------|
| Equipo Transmisor Ubiquiti Rocket M5 5GHz    | 1        |
| Antena Sectorial 5GHz Ubiquiti 16 dB 120°    | 1        |
| Antena Direccional Ubiquiti LiteBeam M5 5GHz | 2        |
| Tripode 1,5m                                 | 3        |
| Antenas varias frecuencias para USRP         | 4        |
| Cable SMA                                    | 2        |
| PC Clone Core i5                             | 1        |

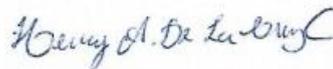
Atentamente,

Alan Casquete Ramos



C.I. 0926357039

Henry De La Cruz Cuenca



C.I. 0922034749

## ANEXO D.

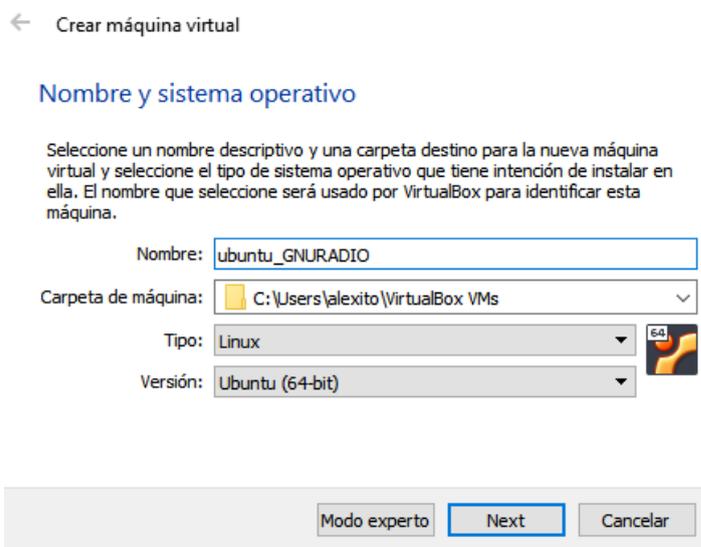
### Manual de prácticas.

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
|   |   | <b>GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>  |  |
| <b>CARRERA:</b> INGENIERÍA ELECTRÓNICA   |   | <b>ASIGNATURA:</b>  |  |
| <b>NRO. PRÁCTICA:</b>  | 1 | <b>TÍTULO PRÁCTICA:</b> INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN DE DISPOSITIVOS SDR Y GNU RADIO.   |  |
| <b>Objetivo general:</b><br>Generar las bases para el uso de dispositivos SDR y GNU Radio.   |   |   |  |
| <b>Objetivos específicos:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Instalar el software GNU Radio en el pc del laboratorio o laptop personal.</li><li>• Interactuar adecuadamente con el software de simulación.</li><li>• Ejemplificar el uso de dispositivos SDR con GNU Radio.</li></ul>   |   |   |  |
| <b>Instrucciones:</b>  |   | 1. Formar grupos de laboratorio para realizar la práctica.  |  |
|  |   | 2. Previo al desarrollo de la práctica el estudiante debe leer el documento de la misma e información relacionada.  |  |
|  |   | 3. El uso de materiales y equipos de laboratorio se deben manejar de acuerdo a las normas del laboratorio y a las indicaciones impartidas por el docente. |  |
|  |   | 4. El laboratorio al finalizar la práctica debe quedar en orden y los equipos guardados en el lugar asignado por el docente.                              |  |
| <b>Actividades por desarrollar:</b><br><br>Para el desarrollo de la práctica se necesita un pc de laboratorio o laptop personal donde se procede a instalar una máquina virtual en la cual se instala Ubuntu como sistema operativo y GNU radio, en su instalación básica.<br><br>Para probar la instalación se realiza un generador de frecuencia para explicar la programación por bloques en GNU radio y verificar su correcta instalación. |   |   |  |
| <b>Procedimiento:</b>  |   |   |  |
| <b>Introducción a la práctica.</b><br><br>Se necesita instalar una distribución Linux para instalar GNU Radio para lo cual se recurre al uso de una máquina virtual en este caso una opción es usar Virtual Box que se puede descargar de su página principal <a href="http://www.virtualbox.org">www.virtualbox.org</a> .   |   |   |  |

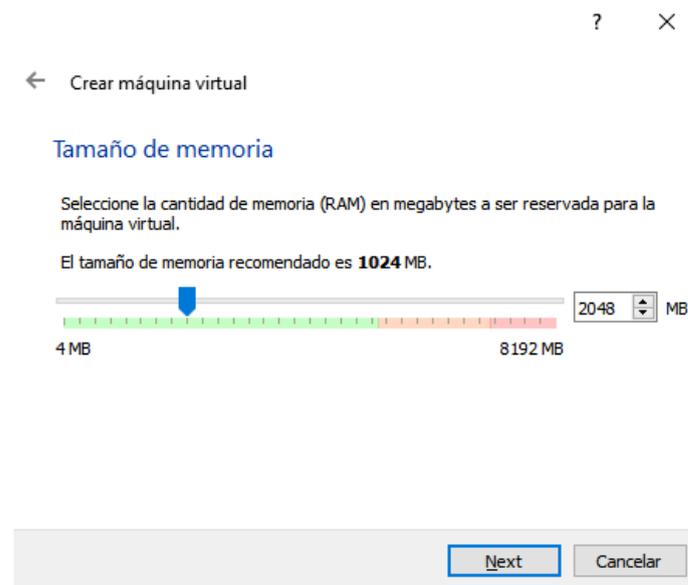
Como segundo punto se debe tener lista la imagen ISO de Ubuntu que se descarga de la página <https://ubuntu.com>, se va a usar la versión 20.04 LTS.

### Creación de la máquina virtual

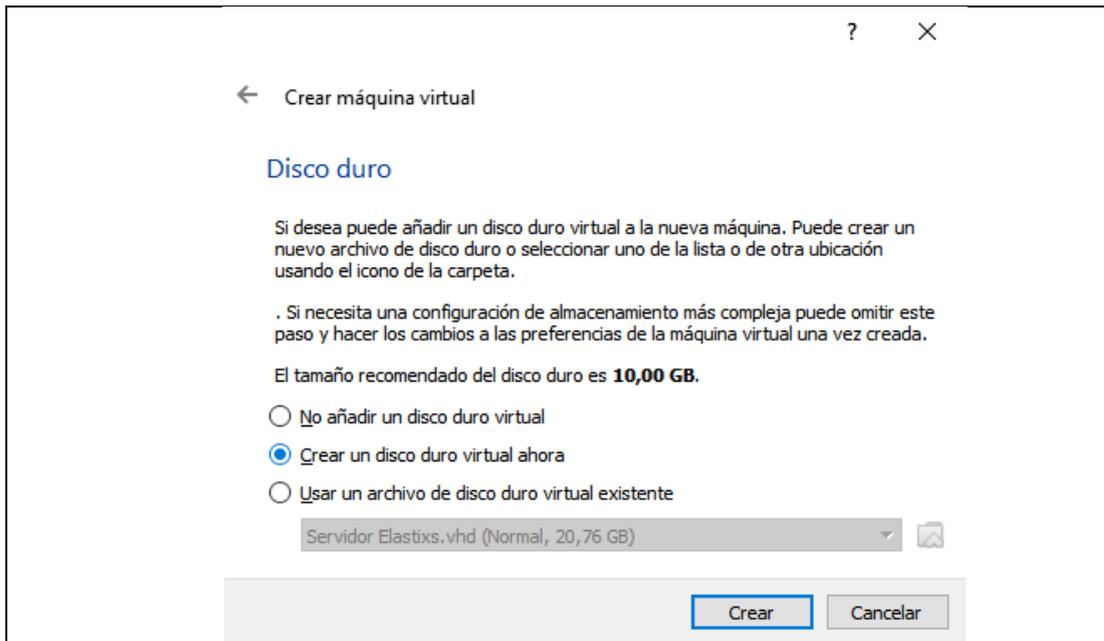
Como prerequisites para configurar correctamente la máquina virtual se escoge un tamaño de memoria de 2GB y un tamaño de disco virtual de mínimo 10 GB. En el virtual box se escoge la opción de crear una nueva máquina virtual y aquí se debe seleccionar que es una distribución Linux y colocar el nombre de la máquina. A continuación, se muestra la secuencia de instalación y configuración de la máquina virtual para su posterior uso.



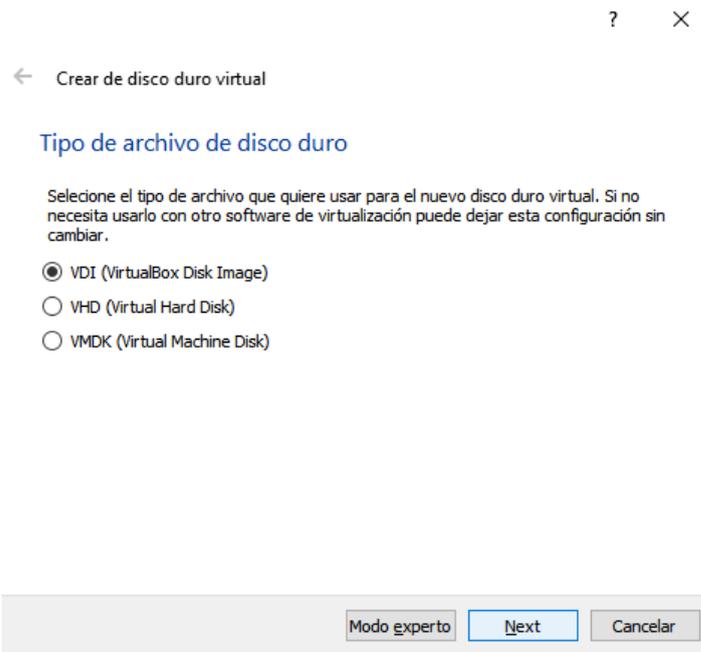
**Figura 1: Selección de sistema operativo a virtualizar.**  
Fuente: Autor.



**Figura 2: Selección de tamaño de memoria.**  
Fuente: Autor.

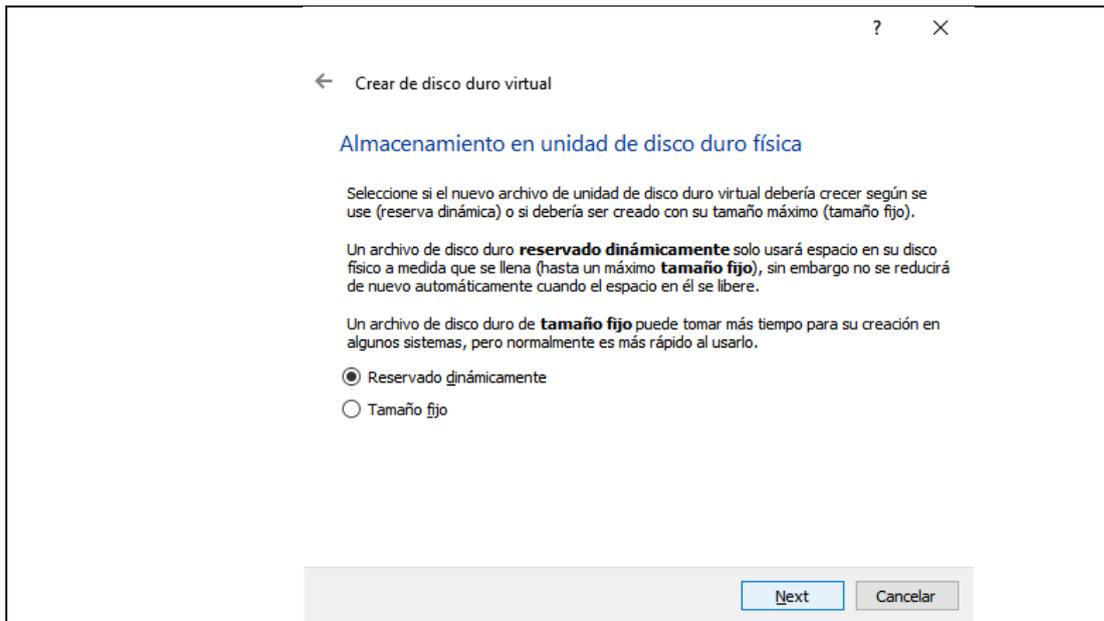


**Figura 3: Selección tamaño de disco duro virtual.**  
Fuente: (Autor, 2021).

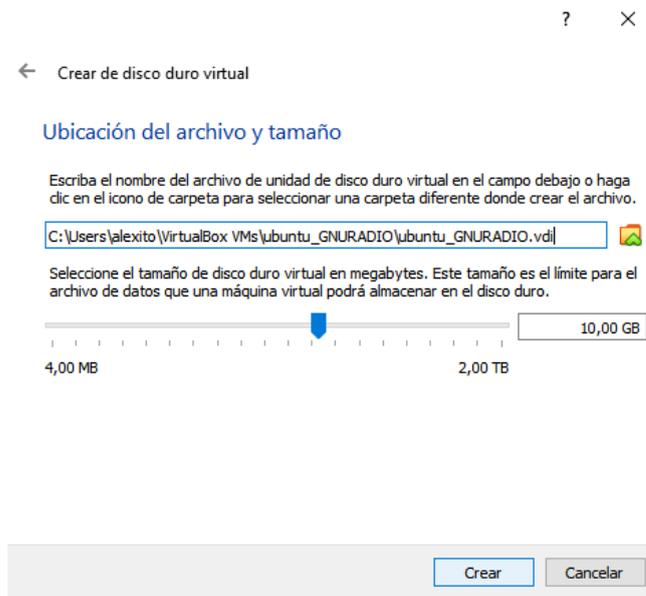


**Figura 4: Selección de tipo de disco duro.**  
Fuente: Autor.

Esta configuración es importante para no afectar al rendimiento de la máquina, se debe escoger la opción de reservado dinámicamente para que se asigne los recursos de disco de acuerdo al uso y no queden reservados aun cuando no se ejecute la aplicación.

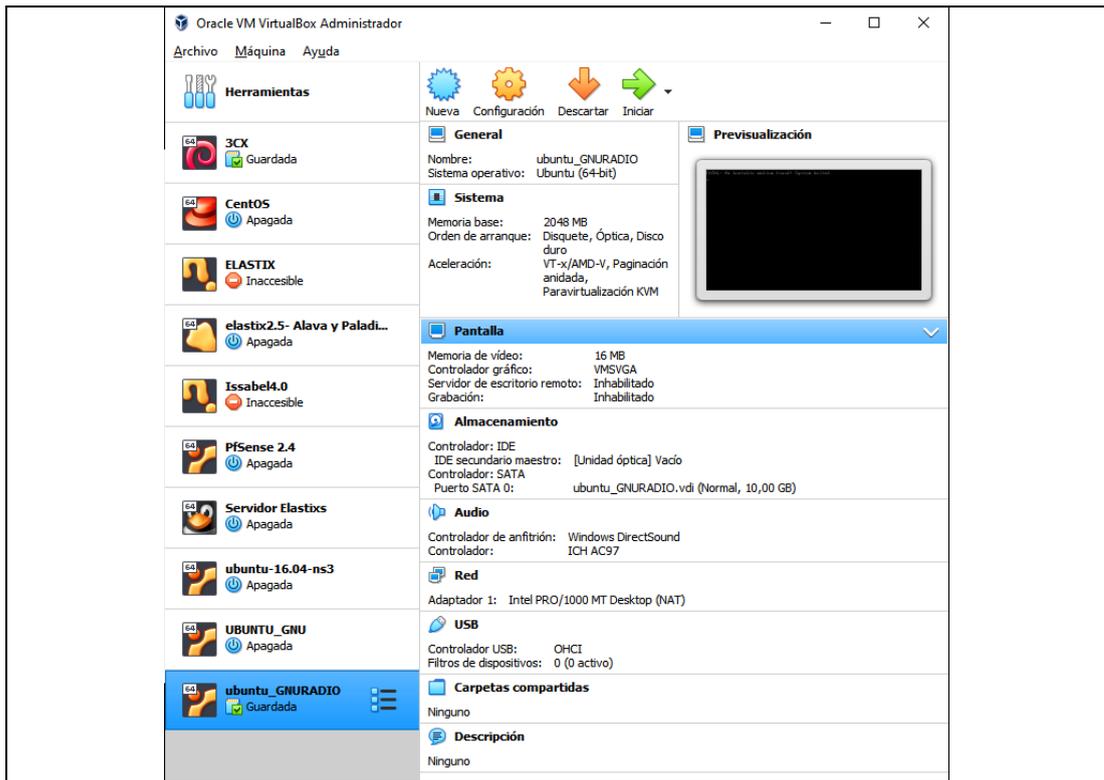


**Figura 5: Selección de tipo de almacenamiento.**  
Fuente: Autor.



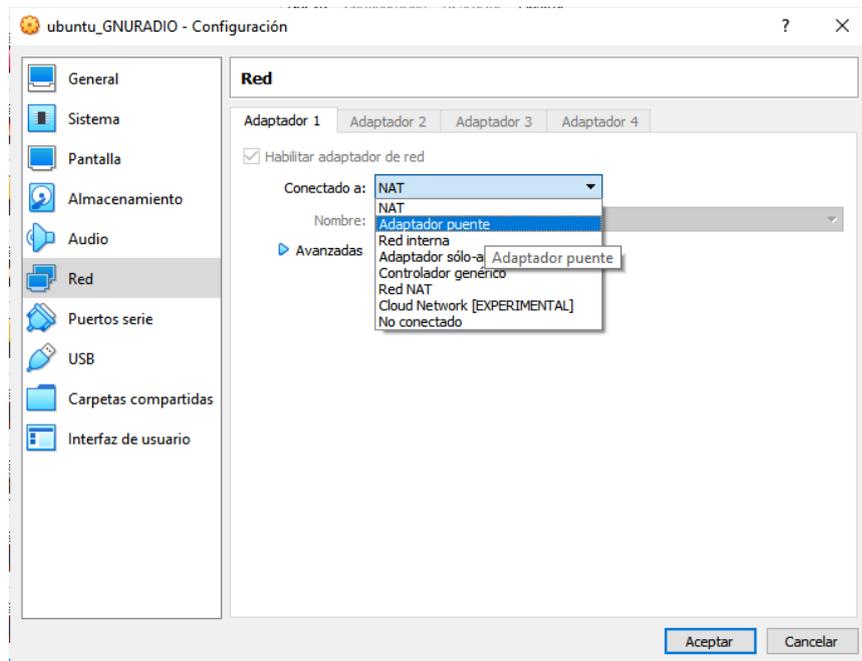
**Figura 6: Selección de tamaño de disco duro virtual.**  
Fuente: Autor.

Una vez terminadas las configuraciones básicas se encuentra ya creada la máquina virtual vacía lista para instalar en ella el sistema operativo base para el uso de GNU Radio.



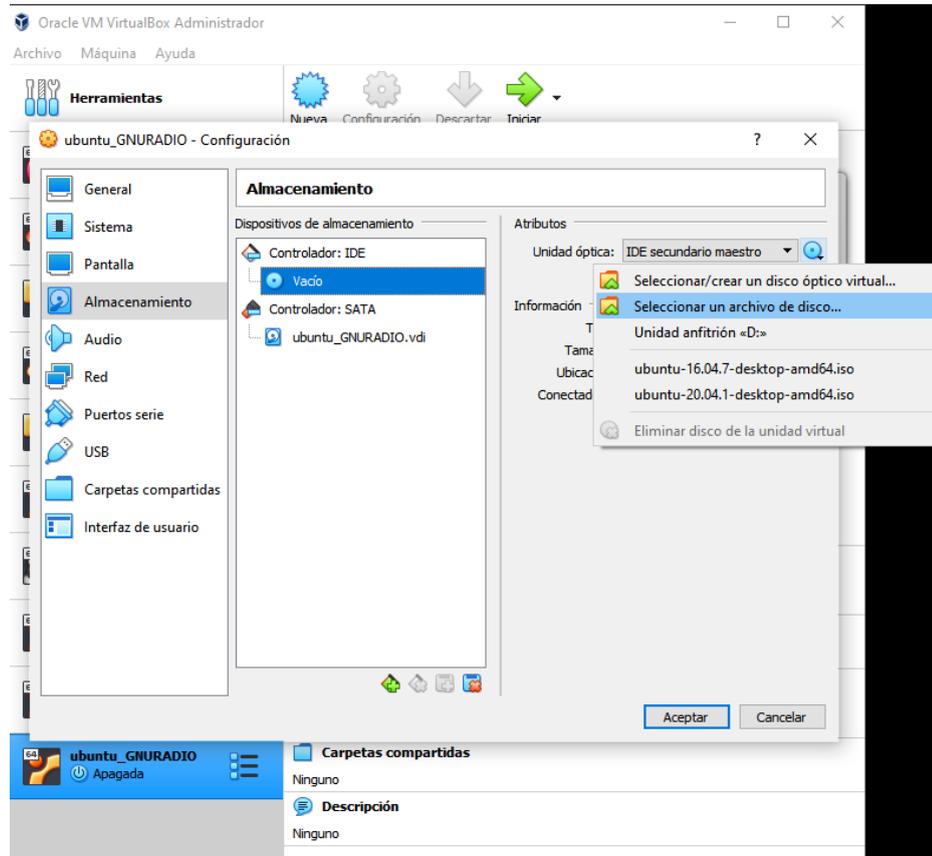
**Figura 7: Máquina virtual generada.**  
Fuente: Autor.

Se necesita realizar una configuración para permitir el acceso a la red desde el interior de la máquina virtual, se escoge en las opciones de la tarjeta de red que en el tipo de conexión se seleccione adaptador puente.

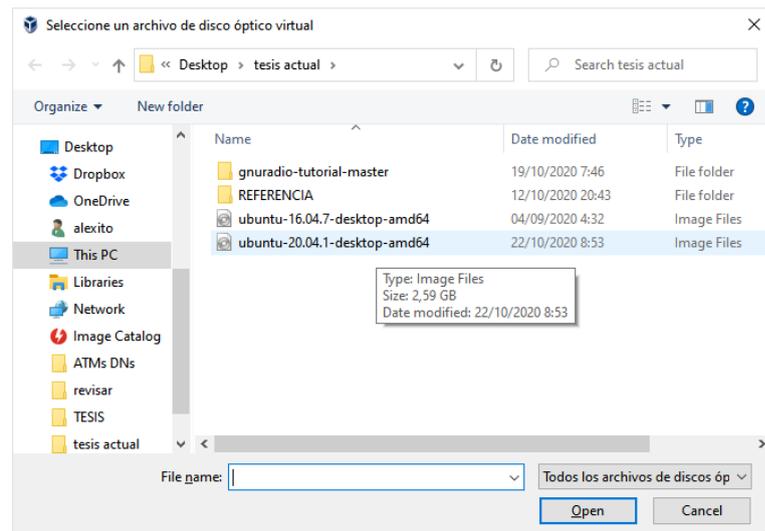


**Figura 8: Selección de opción de adaptador puente.**  
Fuente: Autor.

Ahora se simula que se coloca el cd instalador en la unidad de almacenamiento se escoge la ubicación de la imagen ISO del sistema operativo.



**Figura 9: Selección de imagen ISO.**  
Fuente: Autor.



**Figura 10: Selección de Ubuntu 20.04 como sistema operativo base.**  
Fuente: Autor.

Como paso final se da iniciar en la máquina virtual para que inicie.

## Instalación de Ubuntu en máquina virtual.

La instalación de Ubuntu es sencilla solo se necesita seguir las pantallas y escoger las opciones adecuadas, hay que tomar en consideración al momento de colocar la contraseña que esa será la contraseña del super usuario root que se necesitará más adelante.

Se muestra una secuencia de imágenes de la instalación de Ubuntu.



Figura 11: Selección la opción Instalar Ubuntu.

Fuente: Autor.

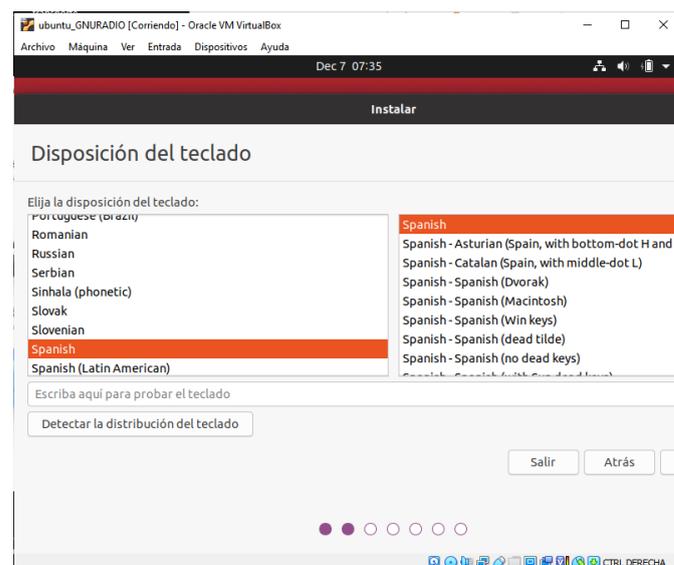
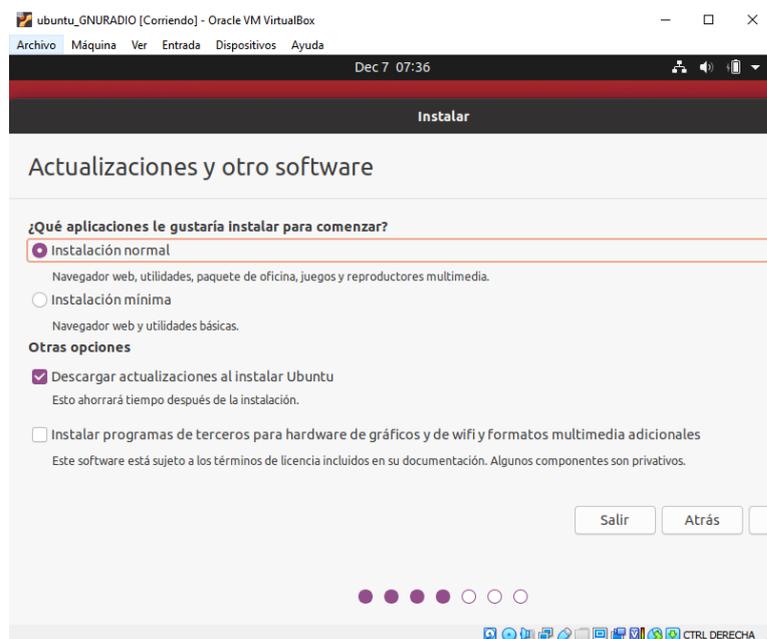
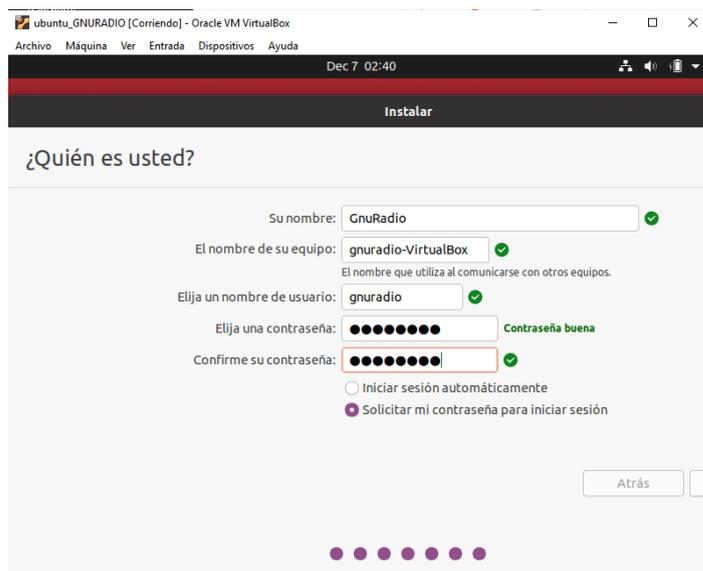


Figura 12: Selección de lenguaje.

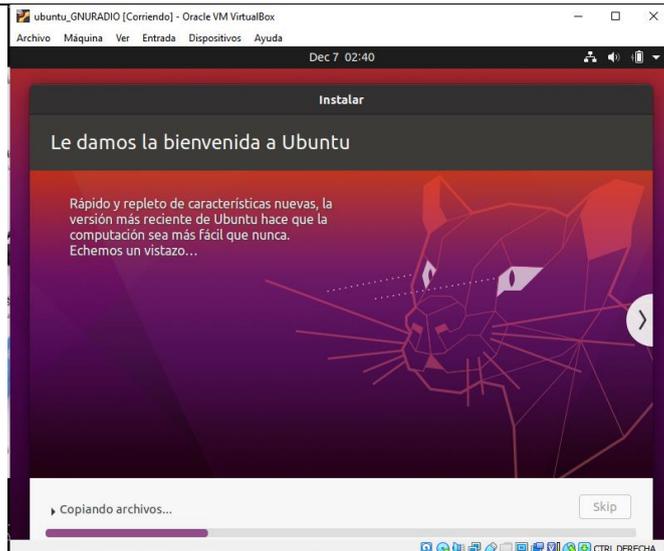
Fuente: Autor.



**Figura 13: Selección de tipo de instalación.**  
**Fuente: Autor.**



**Figura 14: Establecimiento de la contraseña del super usuario root.**  
**Fuente: Autor.**



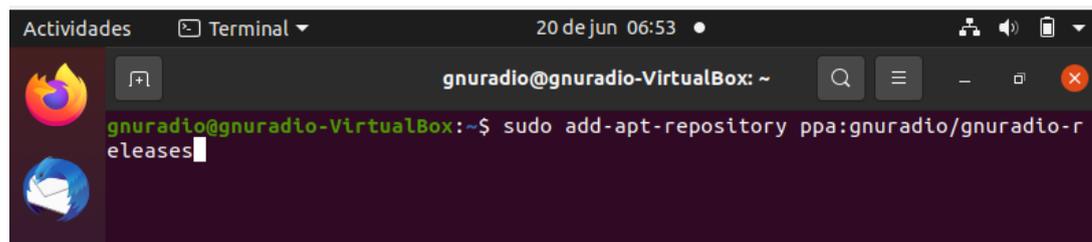
**Figura 15: Instalación de Ubuntu.**  
Fuente: Autor.

Una vez concluida la instalación se debe quitar de la opción de almacenamiento de la máquina virtual el archivo ISO del instalador de Ubuntu para que al reiniciar arranque con la versión instalada.

#### **Instalación de Ubuntu en máquina virtual.**

Abrir el terminal para ejecutar las siguientes líneas de comandos:

```
sudo add -- apt -repository ppa:gnuradio/gnuradio-releases  
sudo apt-get update  
sudo apt-get install gnu radio  
sudo apt-get upgrade
```



**Figura 16: Descarga del repositorio de GNU Radio.**  
Fuente: Autor.



**Figura 17: Instalación de GNU Radio.**  
Fuente: Autor.

## PARTE 2 Realizar un Generador de Frecuencia.

Aperturar el GNU Radio.

Configurar en el bloque Options el id del proyecto, autores, etc.

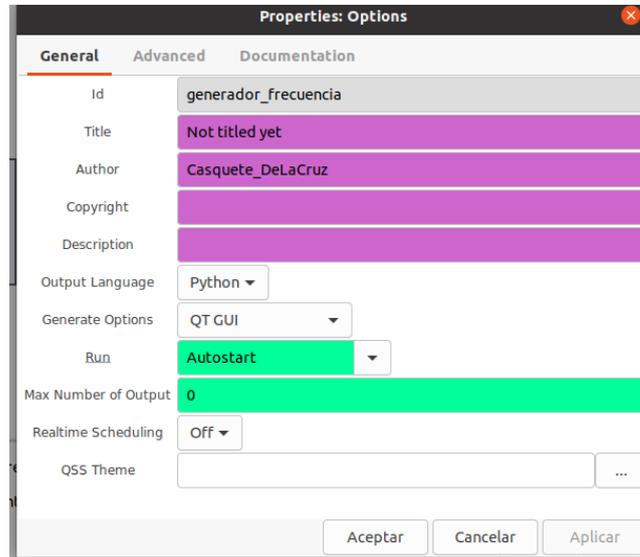


Figura 18: Configuración de bloque Options.  
Fuente: Autor.

Agregar los bloques necesarios para diseñar un generador de señal, los cuales son: Signal Source, Throttle, y QT GUI Time Sink y QT GUI Frecuency Sink los cuales deber ser interconectados como se muestra en la figura.

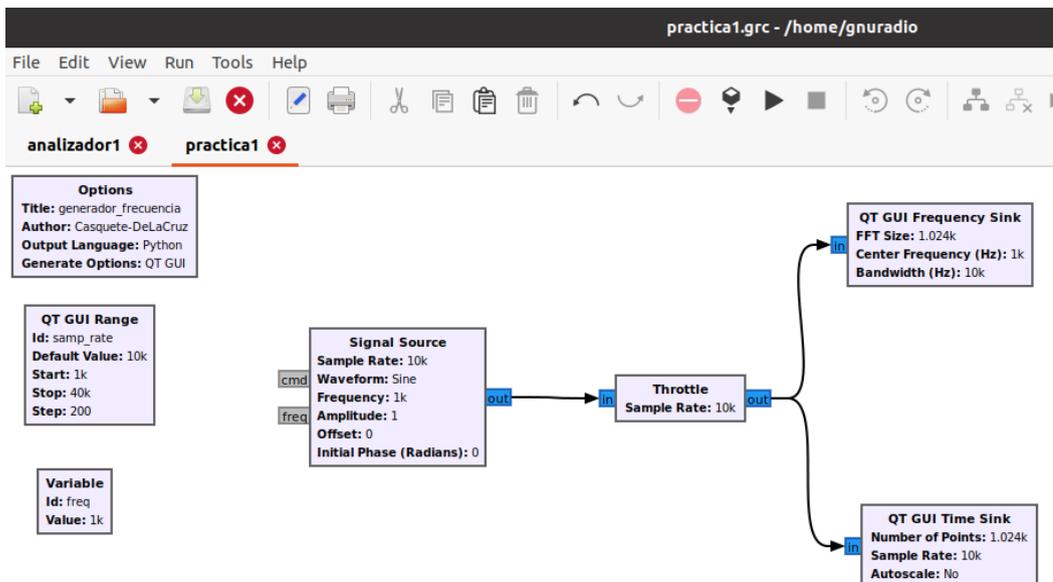


Figura 19: Programación por bloques.  
Fuente: Autor.

Guardar el diseño para ejecutar la aplicación.

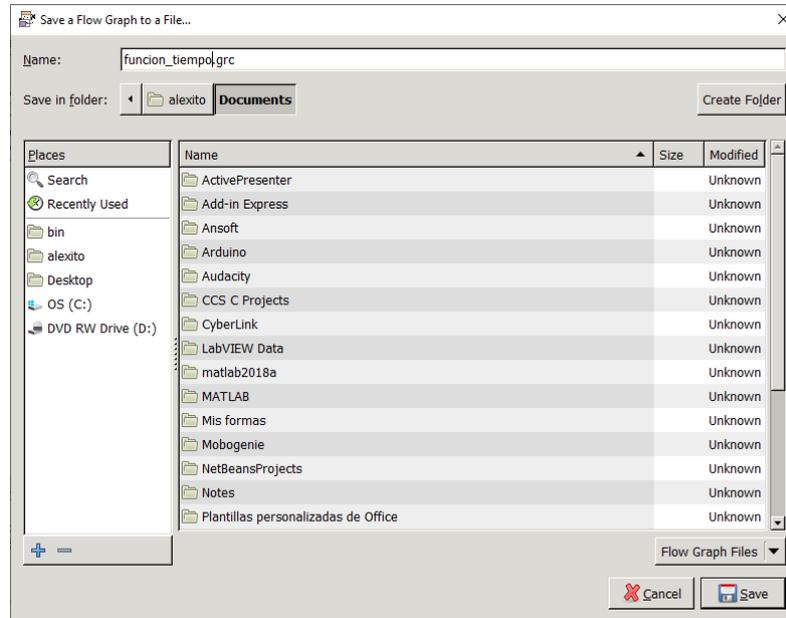


Figura 20: Guardado de diseño.  
Fuente: Autor.

Generamos una función seno porque en la señal de entrada fue configurado en el bloque de entrada.

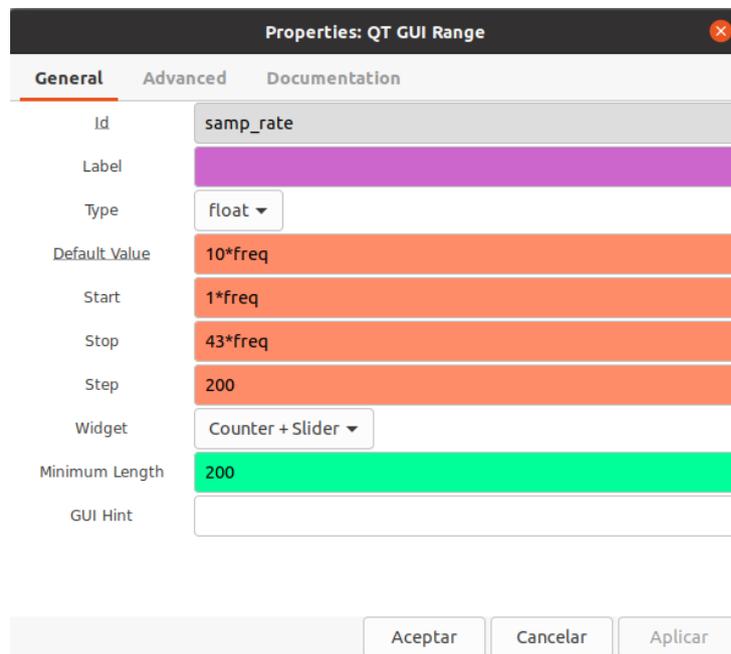
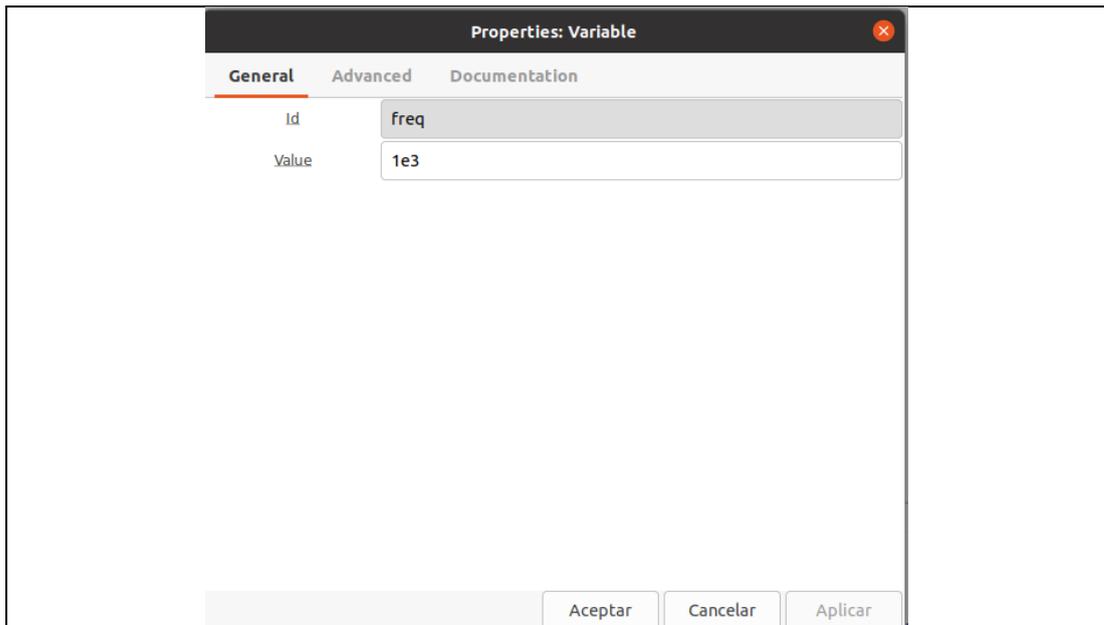
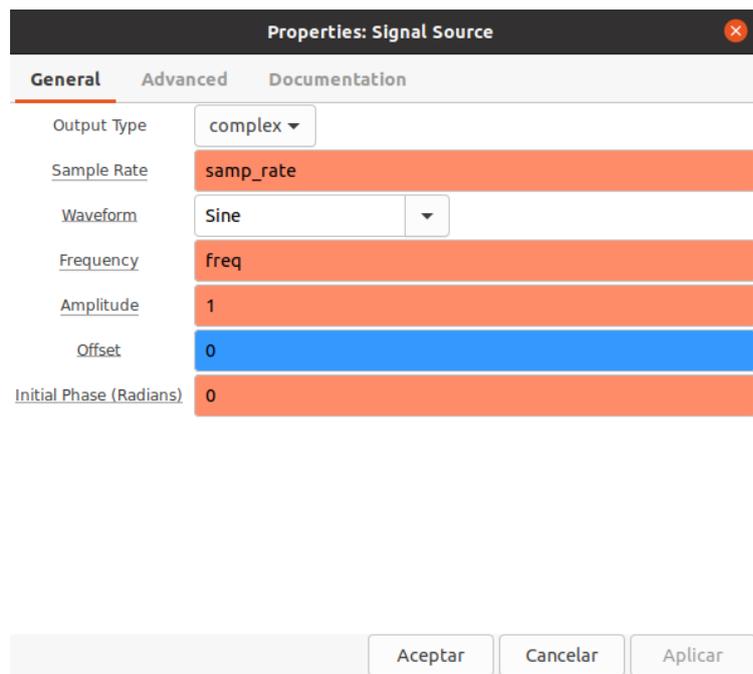


Figura 21: Configuración de bloque QT GUI Range.  
Fuente: Autor.



**Figura 22: Configuración de bloque Variable.**  
Fuente: Autor.



**Figura 23: Configuración de bloque QT GUI Range.**  
Fuente: Autor.

Generar el script(compilar) en Python presionando F5 y ejecutar el programa presionando F6

**Herramientas necesarias:**

- PC o Laptop personal.
- Imagen ISO de Ubuntu.
- Imagen ISO de GNU Radio.

**Referencia de la guía:**

<https://wiki.gnuradio.org/index.php/InstallingGR>

<https://ubuntu.com/tutorials/install-ubuntu-desktop#1-overview>

**RESULTADO(S) OBTENIDO(S):**

El estudiante debe colocar los resultados obtenidos en la práctica con imágenes y descripciones de cada imagen.

**CONCLUSIONES:**

El estudiante debe colocar las conclusiones de las prácticas de acuerdo con los objetivos planteados.

**RÚBRICA DE REVISIÓN DE PRÁCTICA:**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Fecha de realización de la práctica:</b> |            |
| <b>Integrantes del Grupo:</b>               | 1.-<br>2.- |

|   | Excelente | Muy Bueno | Bueno | Regular | Malo | Muy Malo | Observaciones |
|---|-----------|-----------|-------|---------|------|----------|---------------|
| <b>Calidad, orden, evidencia fotográfica y correcta estructuración del desarrollo de la práctica [ 30% del puntaje]</b> |           |           |       |         |      |          |               |
| <b>Sustentación correcta de las prácticas [ 30% del puntaje]</b>  |           |           |       |         |      |          |               |
| <b>Conclusiones de las prácticas [ 40% del puntaje]</b>   |           |           |       |         |      |          |               |

**PUNTAJE:** /10

**CARRERA:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**ASIGNATURA:**

**NRO. PRÁCTICA:**

2

**TÍTULO PRÁCTICA:** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ANALIZADOR DE ESPECTRO USANDO GNU RADIO.

**Objetivo general:**

Diseñar un analizador de espectro usando bloques de programación en GNU Radio.

**Objetivos específicos:**

- Instalar los complementos necesarios para utilizar el hardware apropiado.
- Interactuar adecuadamente con el software de simulación y el hardware escogido para la implementación de un analizador de espectro.

**Instrucciones:**

1. Formar grupos de laboratorio para realizar la práctica.
2. Previo al desarrollo de la práctica el estudiante debe leer el documento de la misma e información relacionada.
3. El uso de materiales y equipos de laboratorio se deben manejar de acuerdo a las normas del laboratorio y a las indicaciones impartidas por el docente.
4. El laboratorio al finalizar la práctica debe quedar en orden y los equipos guardados en el lugar asignado por el docente.

**Actividades por desarrollar:**

Para el desarrollo de la práctica se necesita un pc de laboratorio o laptop personal donde previamente se ha instalado GNU Radio, de acuerdo al hardware a usar se instalan los drivers en Ubuntu, si la instalación es de un dispositivo USRP el driver a instalar es UHD.

Se debe realizar la programación por bloques en GNU Radio y usar USRP junto con una antena omnidireccional para escanear el espectro y a mediante el procesamiento digital de señales generar la respuesta en frecuencia.

**Procedimiento:**

**Instalación de complementos.**

Para realizar la implementación del analizador de espectro se escoge como hardware el dispositivo USRP B205 mini por lo cual se necesita instalar los complementos para que se reconozca y comunique el dispositivo con GNU Radio. Una vez terminada la instalación de GNU Radio se debe instalar por línea de comando en el terminal.

```

gnuradio@gnuradio-965P-DS4: /usr/lib/uhd/utills$ sudo python3 uhd_images_downloader.py
[INFO] Images destination: /usr/share/uhd/images
[INFO] No inventory file found at /usr/share/uhd/images/inventory.json. Creating an empty one.
19442 kB / 19442 kB (100%) x3xx_x310_fpga_default-gfde2a94e.zip
18697 kB / 18697 kB (100%) x3xx_x300_fpga_default-gfde2a94e.zip
01534 kB / 01534 kB (100%) e3xx_e310_sg1_fpga_default-gfde2a94e.zip
01522 kB / 01522 kB (100%) e3xx_e310_sg3_fpga_default-gfde2a94e.zip
09070 kB / 09070 kB (100%) e3xx_e320_fpga_default-gfde2a94e.zip
23071 kB / 23071 kB (100%) n3xx_n310_fpga_default-gfde2a94e.zip
03350 kB / 16072 kB (020%) n3xx_n300_fpga_default-gfde2a94e.zip

```

Figura 1: Instalación de complementos.  
Fuente: Autor.

Para el acceso permanente al puerto USB es necesario por línea d comando darle el permiso correspondiente.

```

gnuradio-965P-DS4:/$ cd /lib/uhd/utills
gnuradio-965P-DS4:/lib/uhd/utills$ sudo cp uhd-usrp.rules /etc/udev/rules.d/
gnuradio-965P-DS4:/lib/uhd/utills$ sudo udevadm control --reload-rules
gnuradio-965P-DS4:/lib/uhd/utills$ sudo udevadm trigger
gnuradio-965P-DS4:/lib/uhd/utills$
gnuradio-965P-DS4:/lib/uhd/utills$
gnuradio-965P-DS4:/lib/uhd/utills$

```

Figura 2: Configuración de acceso permanente al puerto.  
Fuente: Autor.

Para probar si está correctamente configurado y ya reconoce los dispositivos se ejecuta el comando como lo muestra la siguiente imagen.

```

gnuradio@gnuradio-965P-DS4: /usr/lib/uhd/utills$ sudo uhd_find_devices
[INFO] [UHD] linux; GNU C++ version 9.2.1 20200304; Boost 107100; UHD 3.15.1
[INFO] [B200] Loading firmware image: /usr/share/uhd/images/usrp_b200_fw.hex
-----
-- UHD Device 0
-----
Device Address:
  serial: 314C092
  name: B2051
  product: B205mini
  type: b200

```

Figura 3: Verificación de acceso al dispositivo.  
Fuente: Autor.

La respuesta a este comando da información del dispositivo conectado, la misma será útil en la programación del dispositivo dentro de GNU Radio.

### Programación de bloques en GNU Radio.

Configurar los bloques de programación de acuerdo a los gráficos a continuación, los parámetros van a cambiar de acuerdo a las características del segmento de espectro a analizar, para este caso está configurado para analizar un segmento en la banda FM.

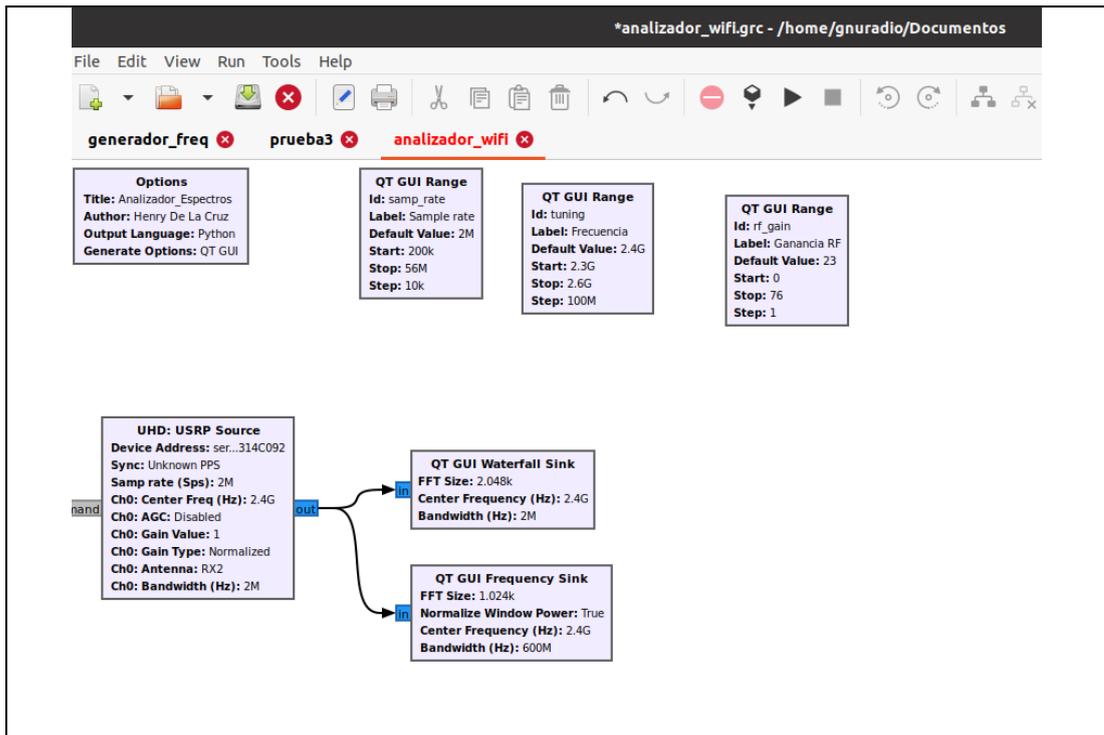


Figura 4: Diagrama de bloques de la programación en GNU Radio.  
Fuente: Autor.

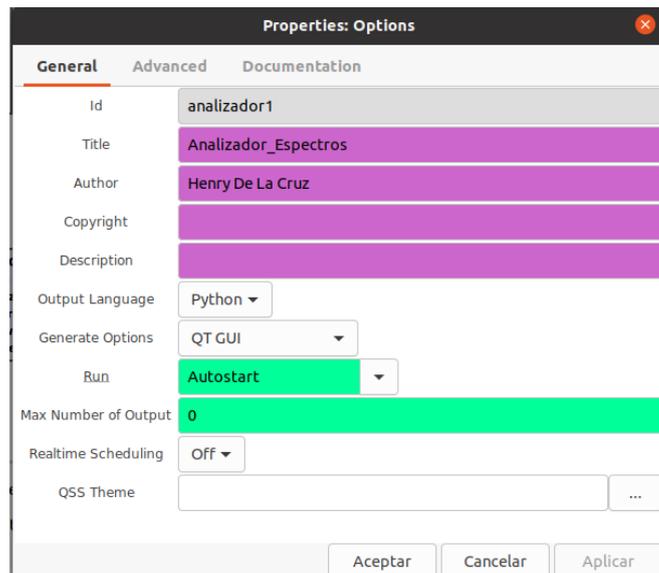
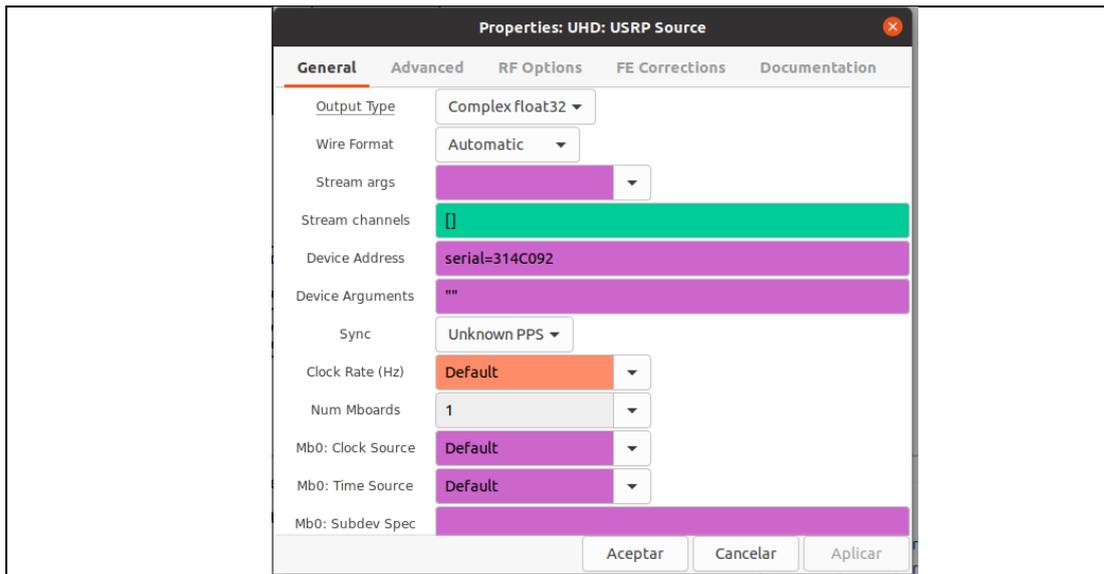


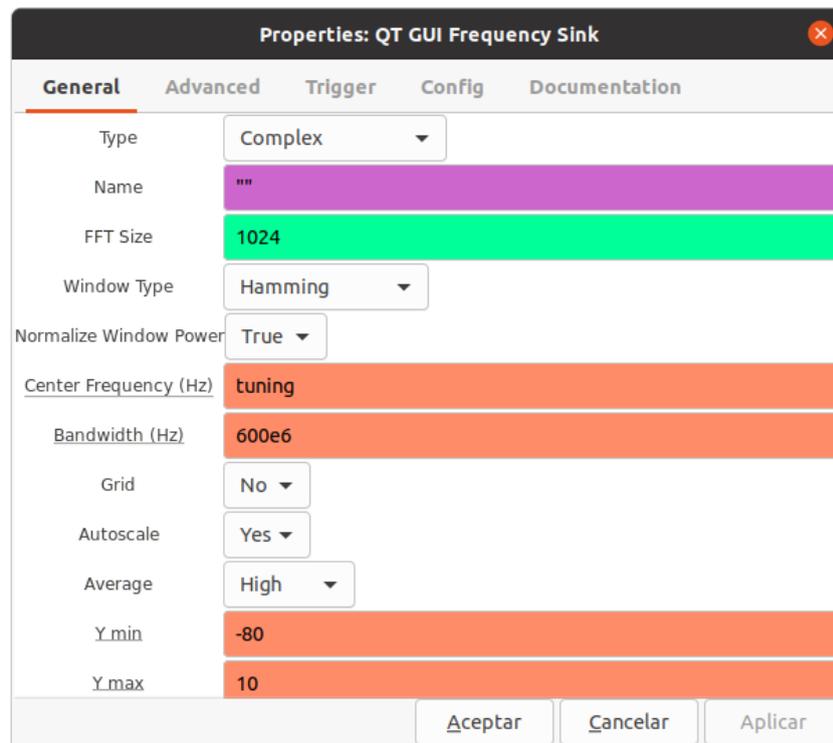
Figura 5: Configuración del bloque informativo Options.  
Fuente: Autor.

El bloque USRP Source es el que va a estar interconectado con el hardware para lo cual se instaló previamente los complementos, se debe identificar el hardware id del dispositivo para lo cual revisar el serial del mismo en la Figura 3 y configurarlo en el campo Serial Address.



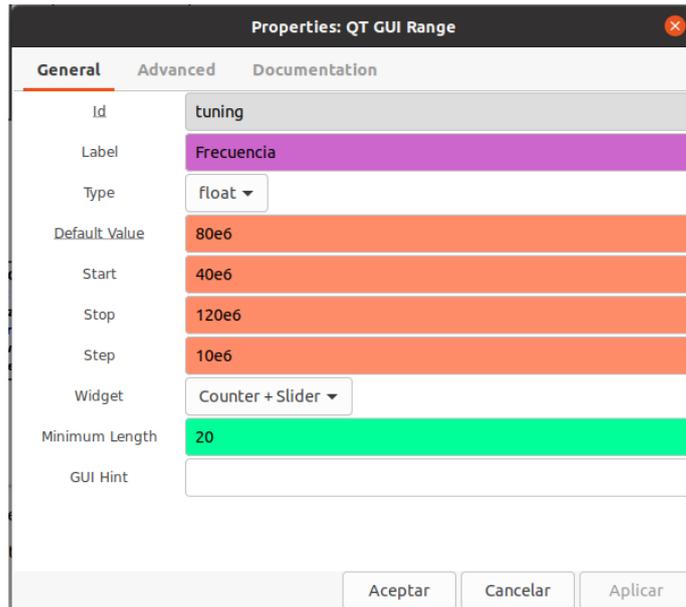
**Figura 6: Configuración del bloque USRP Source.**  
Fuente: Autor.

El bloque QT GUI Sink Frequency y Waterfall Sink son donde se va a mostrar el resultado del procesamiento de la señal monitoreada por el USRP me permite escoger el tamaño de la transformada rápida de Fourier y el tipo de algoritmo como parámetros importantes.

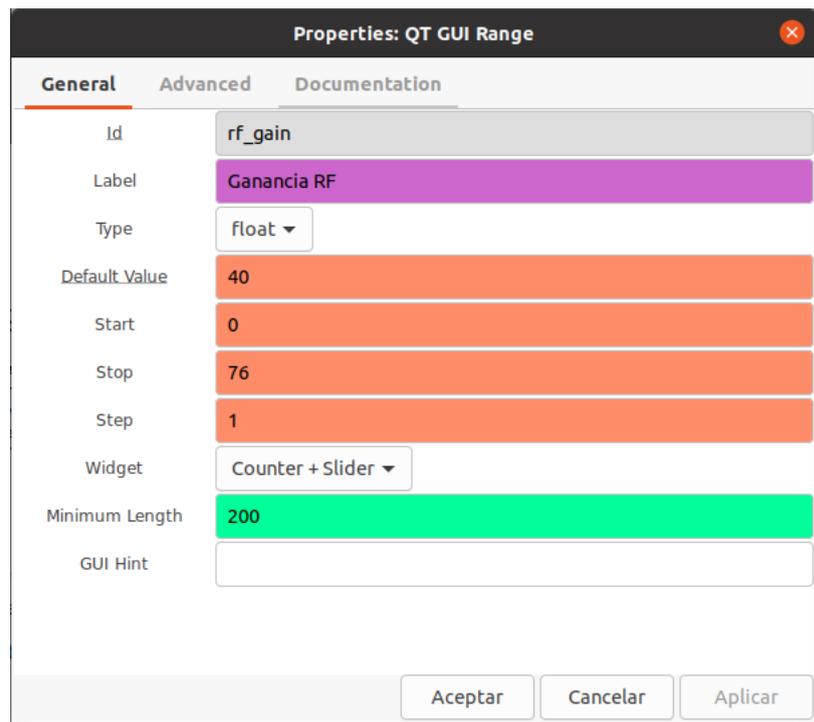


**Figura 7: Configuración del bloque QT GUI Sink.**  
Fuente: Autor.

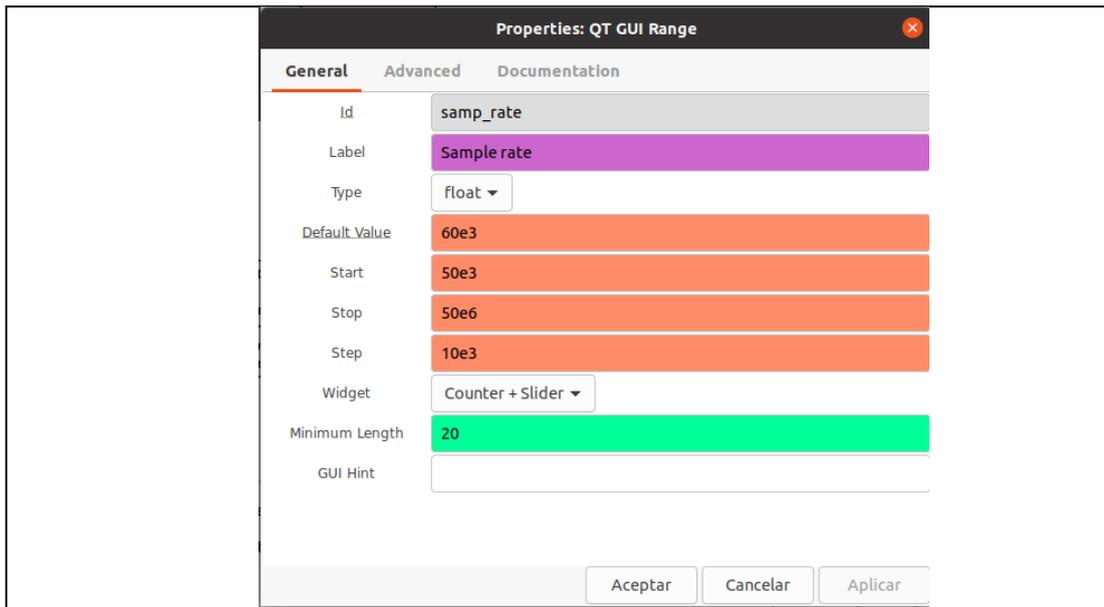
Configurar las variables Frecuencia, Ganancia y frecuencia de muestreo de acuerdo al segmento del espectro a analizar como se muestra en las siguientes figuras.



**Figura 8: Configuración de la variable Frecuencia.**  
Fuente: Autor.



**Figura 9: Configuración de la variable Ganancia.**  
Fuente: Autor.



**Figura 10: Configuración de la variable frecuencia de muestreo.**  
**Fuente: Autor.**

Para lograr ver la ejecución del analizador de espectro es necesario que esté conectado el dispositivo SDR para este caso USRP B 205 mini, caso contrario presentará un error debido a que no encuentra el dispositivo que provee la señal inicial.

Guardar y ejecutar la simulación.

#### **Herramientas necesarias:**

- PC o Laptop personal.
- USRP.
- Antena omnidireccional
- Cable para antena con conector SMA.

#### **Referencia de la guía:**

<https://wiki.gnuradio.org/index.php/Tutorials>  
[https://www.gnuradio.org/doc/doxygen/page\\_uhd.html](https://www.gnuradio.org/doc/doxygen/page_uhd.html)

**RESULTADO(S) OBTENIDO(S):**

El estudiante debe colocar los resultados obtenidos en la práctica con imágenes y descripciones de cada imagen.

**CONCLUSIONES:**

El estudiante debe colocar las conclusiones de las prácticas de acuerdo con los objetivos planteados.

**RÚBRICA DE REVISIÓN DE PRÁCTICA:**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Fecha de realización de la práctica:</b> |            |
| <b>Integrantes del Grupo:</b>               | 1.-<br>2.- |

|   | <b>Excelente</b> | <b>Muy Bueno</b> | <b>Bueno</b> | <b>Regular</b> | <b>Malo</b> | <b>Muy Malo</b> | <b>Observaciones</b> |
|---|------------------|------------------|--------------|----------------|-------------|-----------------|----------------------|
| <b>Calidad, orden, evidencia fotográfica y correcta estructuración del desarrollo de la práctica<br/>[ 30% del puntaje]</b> |                  |                  |              |                |             |                 |                      |
| <b>Sustentación correcta de las prácticas<br/>[ 30% del puntaje]</b>  |                  |                  |              |                |             |                 |                      |
| <b>Conclusiones de las prácticas<br/>[ 40% del puntaje]</b>   |                  |                  |              |                |             |                 |                      |

|                 |            |
|-----------------|------------|
| <b>PUNTAJE:</b> | <b>/10</b> |
|-----------------|------------|

**CARRERA:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**ASIGNATURA:**

**NRO. PRÁCTICA:**

3

**TÍTULO PRÁCTICA:** INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN DE ENLACES INALÁMBRICOS EN RADIO MOBILE

**Objetivo general:**

Simular un sistema de comunicación inalámbrico mediante el software Radio Mobile entre 2 puntos específicos de la ciudad de Guayaquil.

**Objetivos específicos:**

- Instalar el software en el pc del laboratorio o laptop personal.
- Interactuar adecuadamente con el software de simulación.
- Simular un enlace punto a punto de media distancia.

**Instrucciones:**

**1.** Formar grupos de laboratorio para realizar la práctica.

**2.** Previo al desarrollo de la práctica el estudiante debe leer el documento de la misma e información relacionada.

**3.** El uso de materiales y equipos de laboratorio se deben manejar de acuerdo a las normas del laboratorio y a las indicaciones impartidas por el docente.

**4.** El laboratorio al finalizar la práctica debe quedar en orden y los equipos guardados en el lugar asignado por el docente.

**Actividades por desarrollar:**

Para el desarrollo de la práctica se necesita un pc de laboratorio o laptop personal donde se procede con la descarga e instalación de Radio Mobile, se da una inducción a las características más relevantes de Radio Mobile y se realiza una simulación de un radio enlace.

**Procedimiento:**

Descargar de la página oficial del simulador, la última versión disponible.

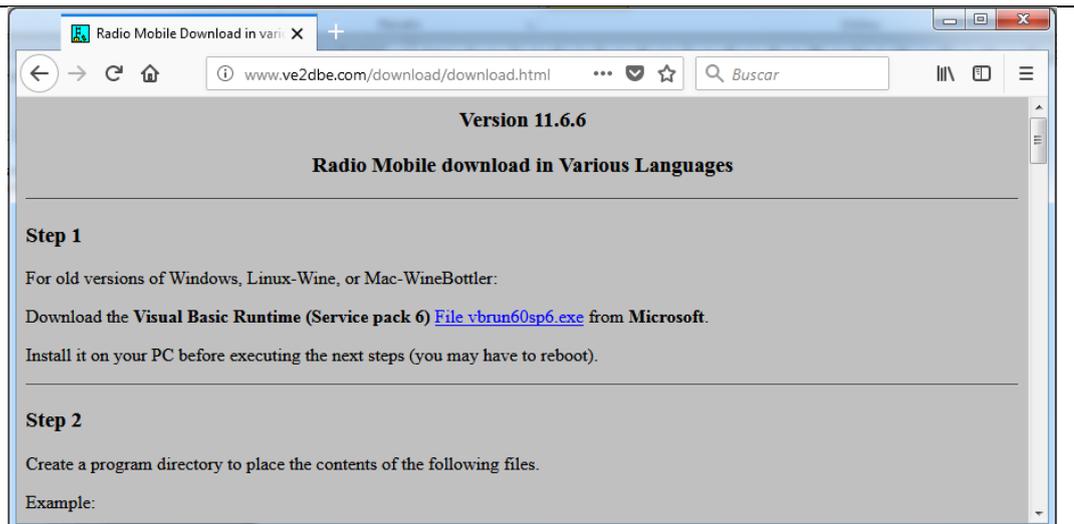
URL de descarga:

<http://www.ve2dbe.com/download/download.html>

**Instalación del software.**

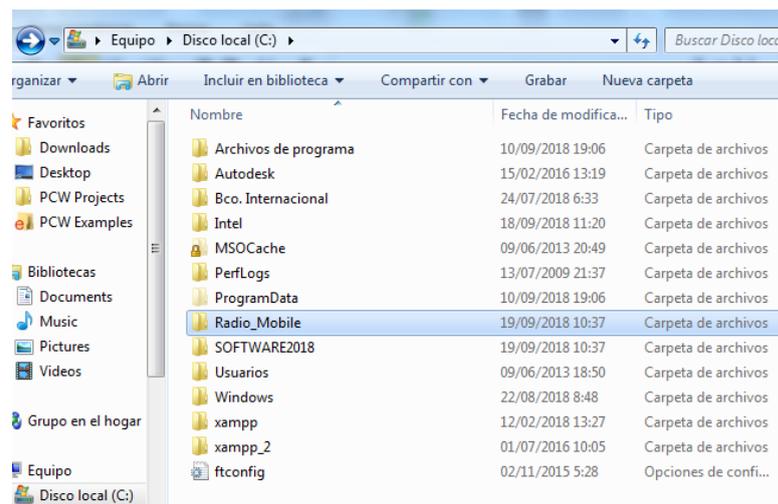
Descargar los paquetes en formato .zip llamados:

- Rmwcore.zip
- El archivo de paquete de traducción al español rmw####spa.zip (#### son los números correspondiente a la última versión disponible).
- Wmap.zip.

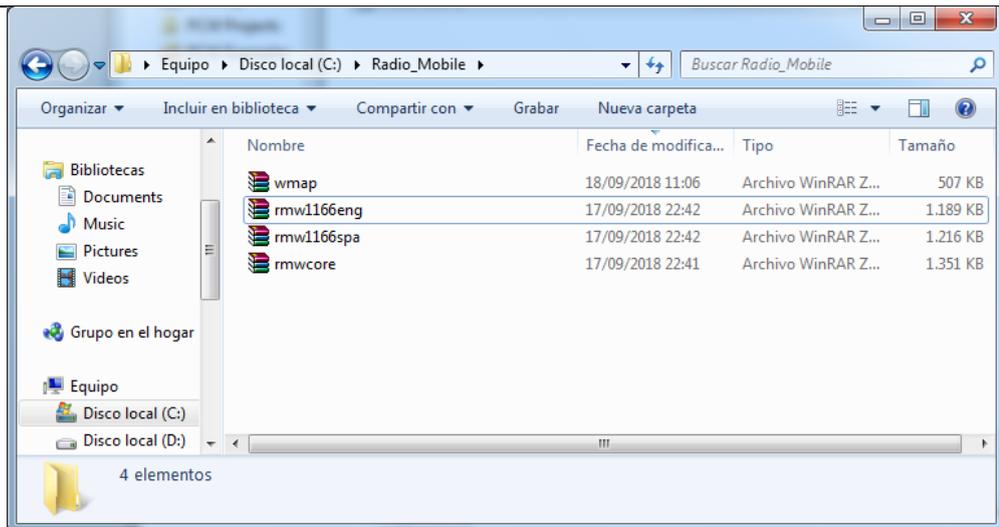


**Figura 1: Descarga Radio Mobile.**  
**Fuente: Autor.**

Crear una Carpeta en la raíz del Disco Local C: llamada Radio Mobile, dentro de esta carpeta nueva, pegar los 3 archivos .zip descargados.



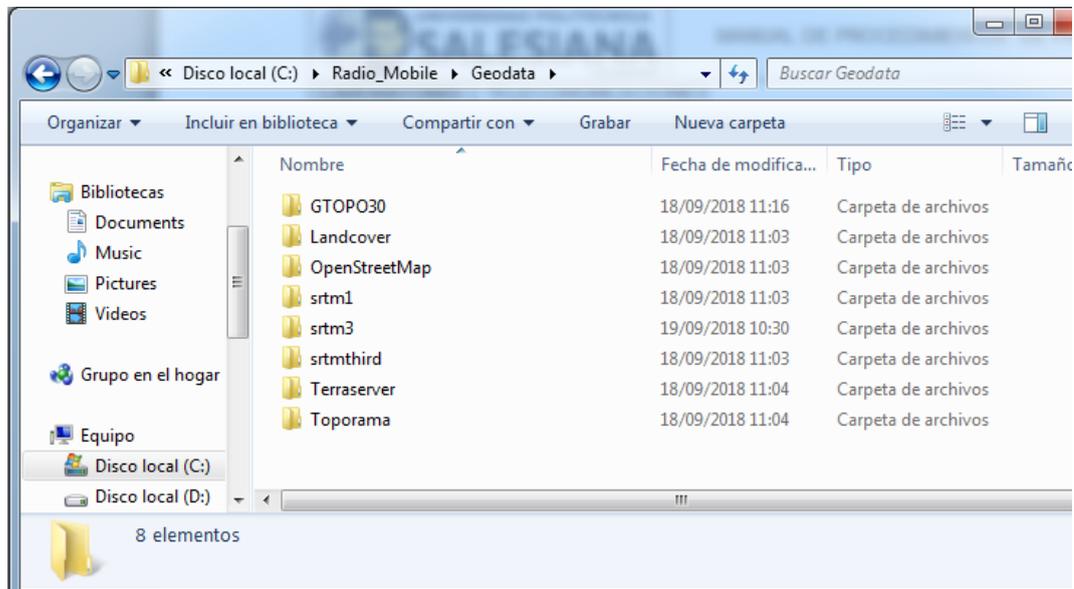
**Figura 2: Instalación Radio Mobile 2.**  
**Fuente: Autor.**



**Figura 3: Instalación Radio Mobile 3.**  
Fuente: Autor.

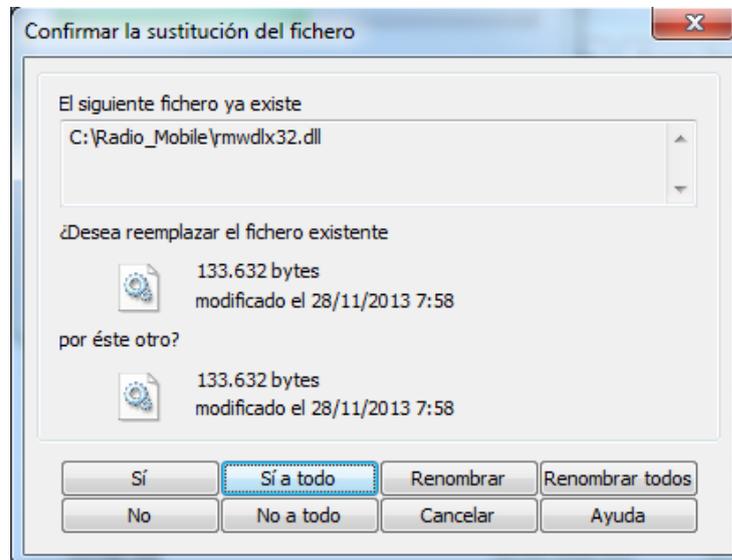
Dentro de Radio Mobile crear una nueva carpeta llamada Geodata.  
Dentro de Geodata crear las siguientes nuevas carpetas.

- srtm3
- srtm1
- strthird
- Landcover
- OpenStreetMap
- Terraserver
- Toporama
- GTOPO30



**Figura 4: Instalación Radio Mobile 4.**  
Fuente: Autor.

Volver a la carpeta Principal, seleccionar todos los archivos .zip y hacer doble clic extraer aquí. (Si emerge una ventana de duplicado de archivos, hacer clic en si a todo).

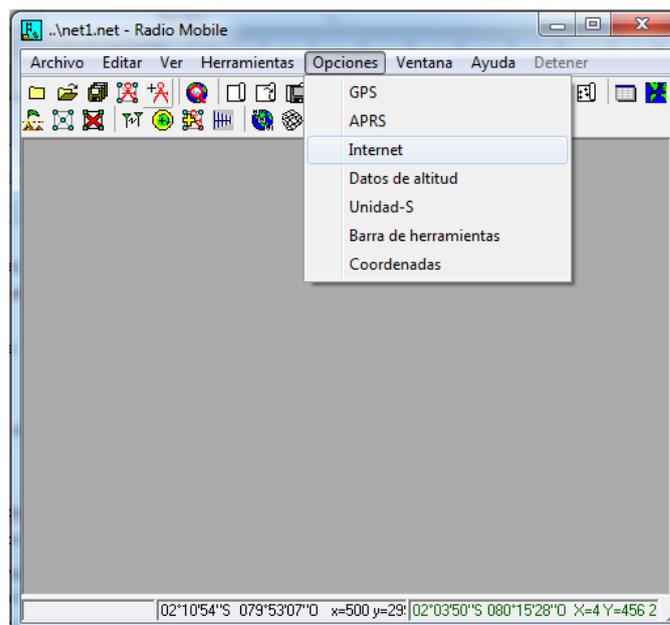


**Figura 5: Instalación Radio Mobile 5.**  
**Fuente: Autor.**

Una vez extraídos todos los archivos, buscar el archivo rmwspa.exe y hacer doble clic en él. Acto seguido se abrirá el software de simulación.

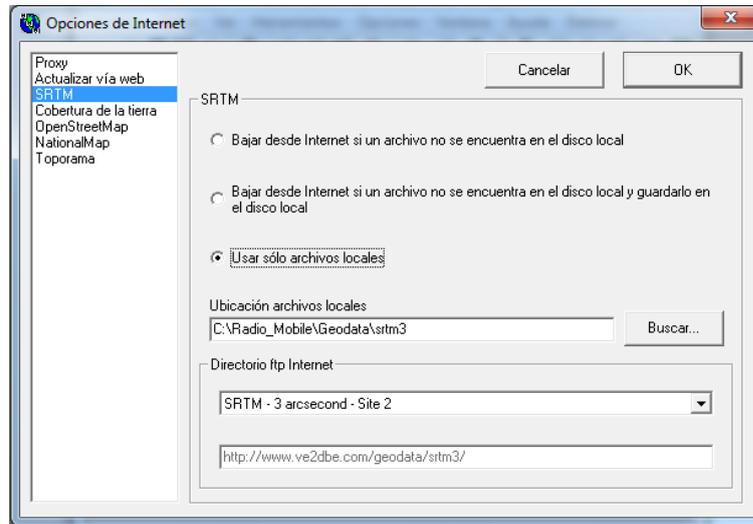
### **Preparación del software de simulación.**

Una vez abierto el programa, hacer clic en opciones – Internet.



**Figura 6: Configuración Radio Mobile 1.**  
**Fuente: Autor.**

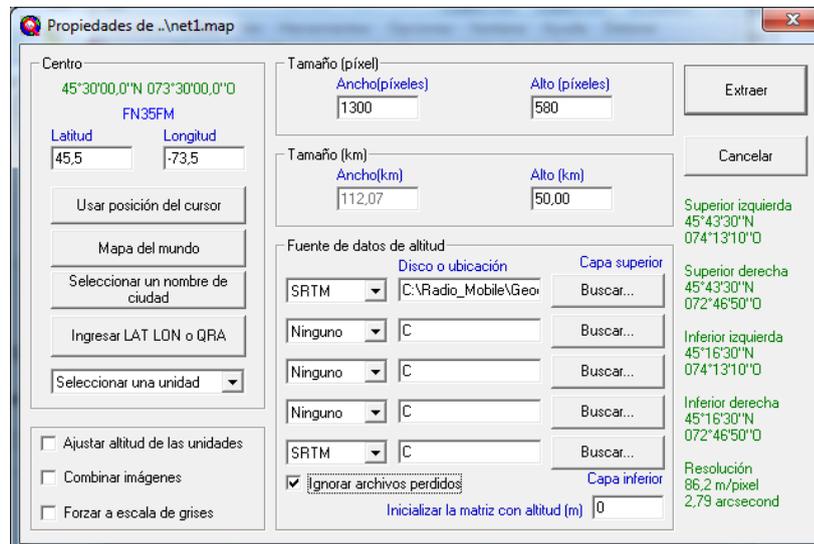
En la ventana emergente seleccionar la opción: SRTM.  
 Modificar las opciones acordes a la siguiente captura de pantalla y hacer clic en ok.



**Figura :7 Configuración Radio Mobile 2.**  
**Fuente: Autor.**

Para seleccionar el segmento de mapa para realizar la simulación, es necesario ir a la barra de tareas y seleccionar la opción .

En la zona Fuente de datos de altitud es necesario seleccionar como primera opción STRM y como ubicación C:/Radio\_Mobile/Geodata/srtm3, al final de la ventana marcar la opción Ignorar archivos perdidos.



**Figura 8: Configuración Radio Mobile 3.**  
**Fuente: Autor.**

Hay la posibilidad de escoger el tamaño del mapa y la altura de visualización del mapa, esto se puede ajustar a gusto del usuario.

|                                     |                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Tamaño (píxel)                      |                                    |
| Ancho(píxeles)                      | Alto (píxeles)                     |
| <input type="text" value="1347"/>   | <input type="text" value="587"/>   |
| Tamaño (km)                         |                                    |
| Ancho(km)                           | Alto (km)                          |
| <input type="text" value="114,74"/> | <input type="text" value="50,00"/> |

Figura 9: Configuración Radio Mobile 4.  
Fuente: Autor.

Para seleccionar una ubicación específica tenemos varias opciones.

- En la sección llamada Centro podemos ubicar los valores numéricos de latitud y altitud si las conocemos.

|                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 45°30'00,0"N 073°30'00,0"O        |                                    |
| FN35FM                            |                                    |
| Latitud                           | Longitud                           |
| <input type="text" value="45,5"/> | <input type="text" value="-73,5"/> |

Figura 10: Configuración Radio Mobile 5.  
Fuente: Autor.

- Hacer clic en la opción Usar posición del cursor. Para lograr esto solo basta seleccionar alguna parte de la interfaz del programa.

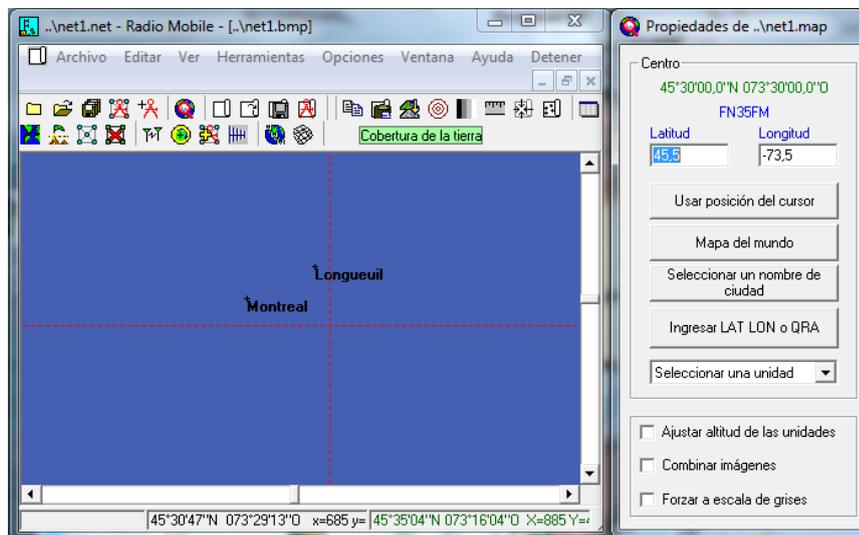
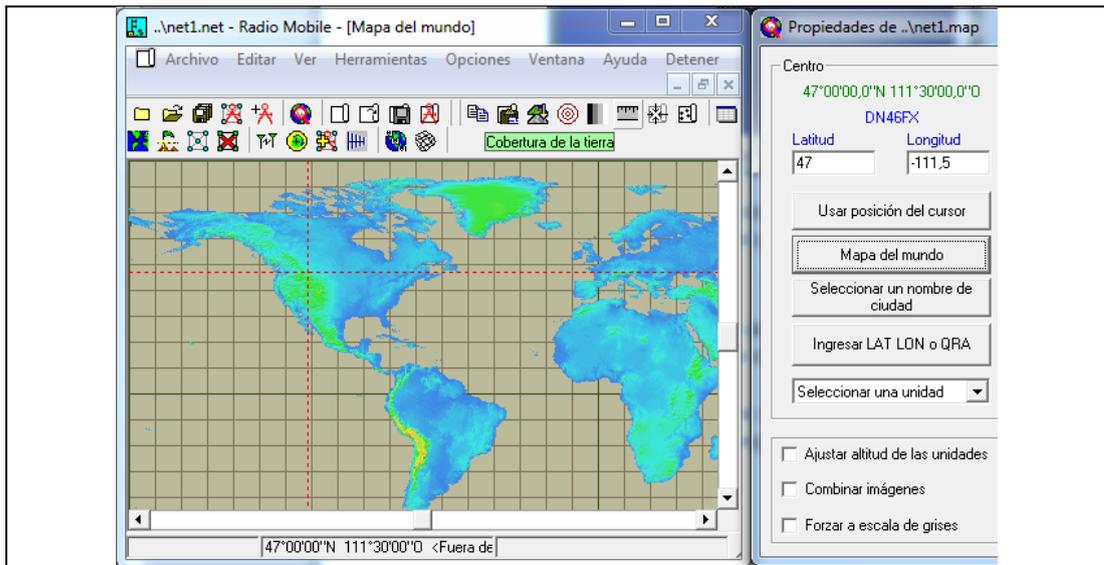


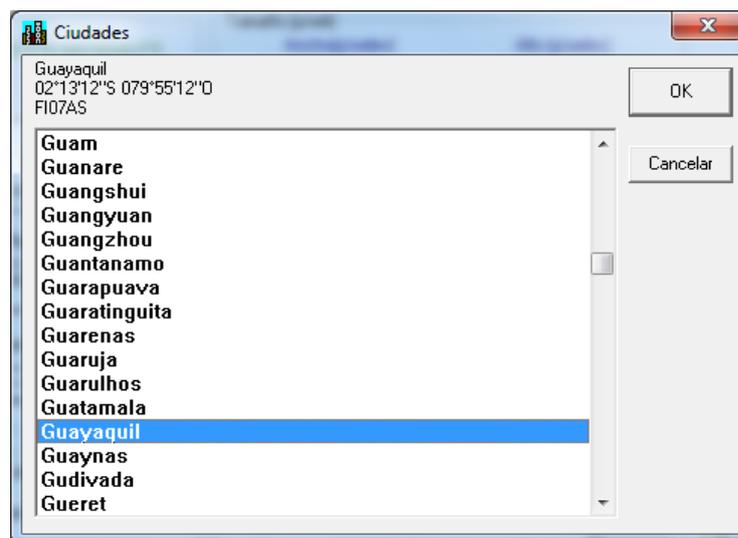
Figura 11: Configuración Radio Mobile 6.  
Fuente: Autor.

- Podemos seleccionar la opción Mapa del mundo donde se abrirá un mapa del mundo y hacer doble clic en el lugar que deseemos.



**Figura 12: Configuración Radio Mobile 7.**  
Fuente: Autor.

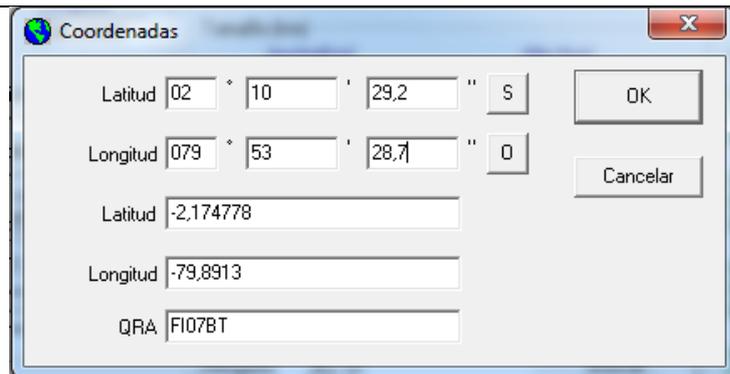
- Existe la opción de seleccionar el nombre de una ciudad en dónde podemos buscar directamente por orden alfabético algún lugar específico.



**Figura 13: Configuración Radio Mobile 8.**  
Fuente: Autor.

- Por último, está la opción para ingresar latitud y longitud en coordenadas geográficas, cabe recalcar que para representar los decimales es obligatorio utilizar la coma (,).

Nota. - Se pueden obtener las coordenadas de programas como Google Maps o Google Earth u otras aplicaciones de mapas y GPS.



**Figura 14: Configuración Radio Mobile 9.**  
Fuente: Autor.

Después de escoger alguna de estas opciones para encontrar una zona adecuada, hacer clic en extraer y esperar unos segundos hasta que el proceso de presentación del mapa culmine.

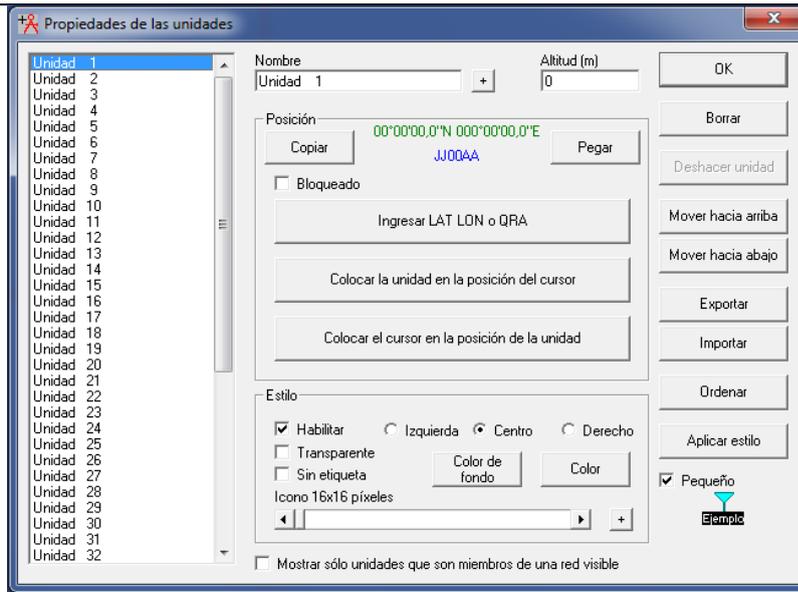
### **Pestañas de uso general.**

La Grilla de Altitud siempre aparece a una esquina de la interfaz del software, la cual indica la altura central, decir del punto seleccionado en el mapa alrededor alturas cercanas, en caso que busquemos mayor elevación para la simulación y posible implementación. Si hacemos clic en una de las celdas alrededor, el cursor se moverá para dicha ubicación.



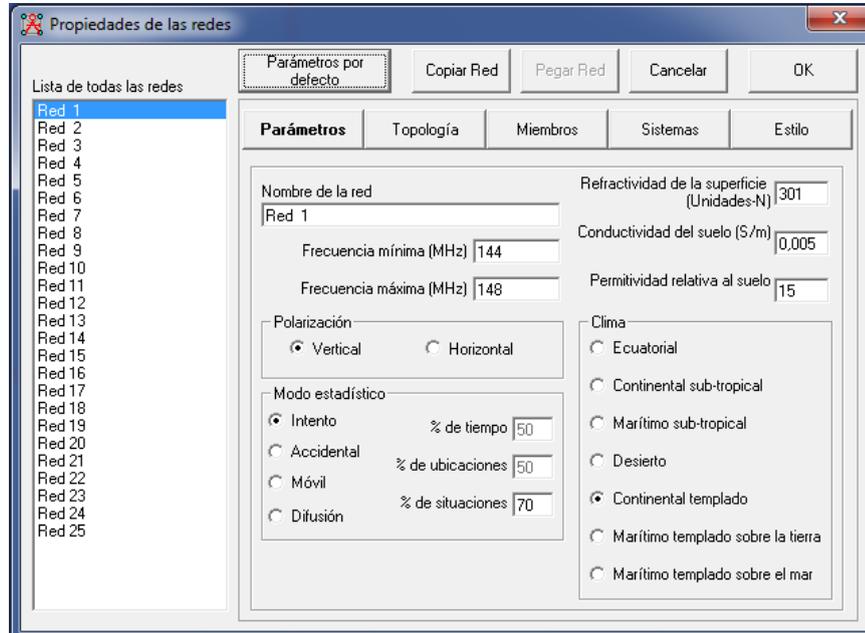
**Figura 15: Menú grilla de altitud.**  
Fuente: Autor.

Para la creación de nodos, estaciones, terminales, etc. Debemos ir a la opción Propiedades de las unidades . Aquí es donde se especifica la ubicación de las estaciones de radio enlace, se puede asignar un nombre específico, así mismo una ubicación, la cual podemos ingresarla manualmente, mediante coordenadas geográficas, o simplemente copiando posición del cursor de Google Earth y haciendo clic en pegar. La altitud es un campo que se llena automáticamente según la posición asignada.



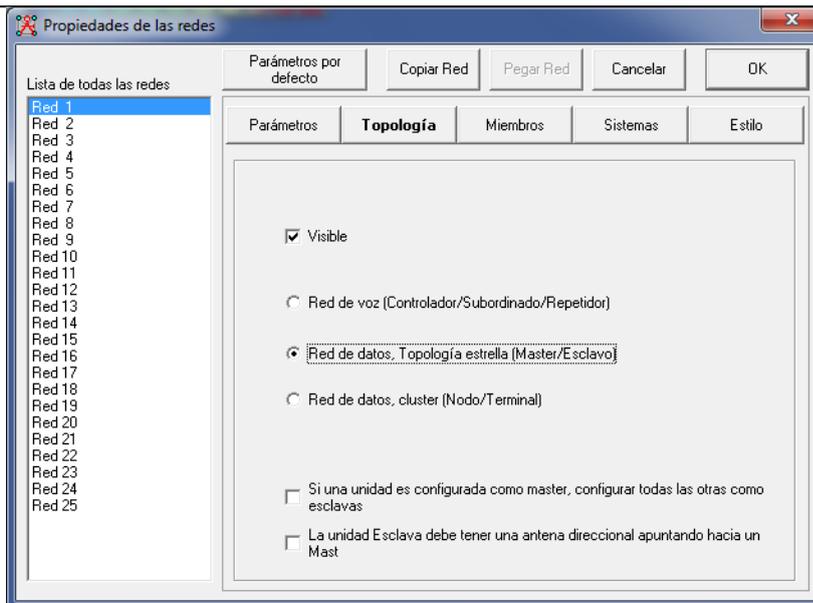
**Figura 16: Menú Propiedades de las unidades.**  
Fuente: Autor:

Para acceder a las propiedades de las redes hacer clic en . Aquí se crean los ambientes de comunicación de los radioenlaces. En la pestaña Parámetros se modifican valores como el Nombre de la red, Frecuencias máxima y mínima de operación, valores típicos de la superficie y el clima en el que tentativamente el enlace estará establecido.



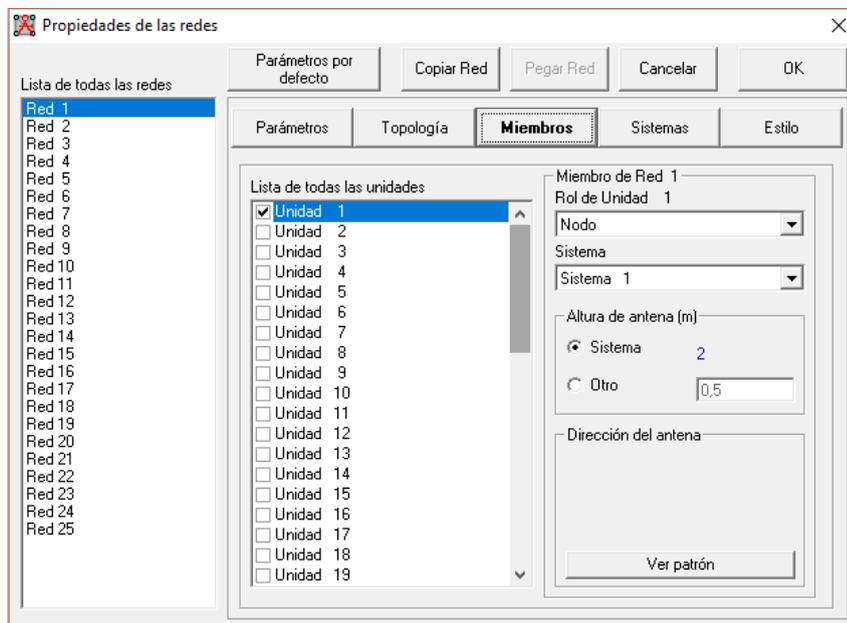
**Figura 17: Menú Parámetros.**  
Fuente: Autor.

En la Pestaña Topología, se escoge la forma de trabajo de la red, según su aplicación ya sea enlaces de voz, radioenlaces, una red de datos o telefonía móvil. Para enlaces PTP se escoge la Topología de Estrella.



**Figura 18: Menú Topología**  
Fuente: Autor.

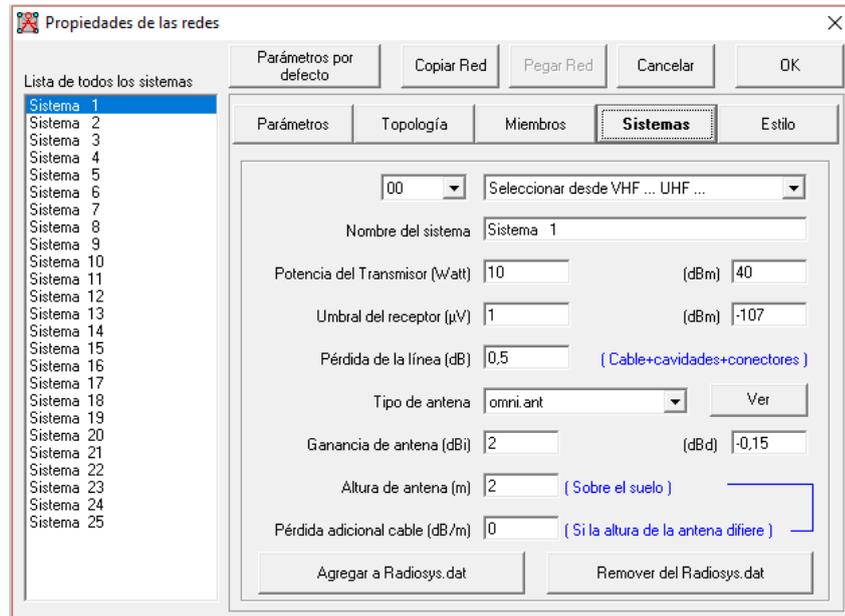
En la pestaña Miembros, se escogen las ubicaciones (previamente creadas) que formaran parte del radioenlace. Para cada red que vayamos a modificar se deben seleccionar sus miembros correspondientes, así como su desempeño, ya sea nodo, terminal, master, esclavo, etc. Por último, se especifica la dirección de la antena.



**Figura 19: Menú Miembros.**  
Fuente: Autor.

En la Pestaña Sistemas, se escogen las características específicas de las estaciones, las cuales se pueden seleccionar en la pestaña miembros. Se pueden modificar características como el nombre del sistema. Potencias de transmisión y recepción en Watts, dBm o uV, ganancia de la antena en dB o dBd (si llena un

campo, el otro se calcula automáticamente). Así mismo como alturas y pérdidas correspondientes de la estación.

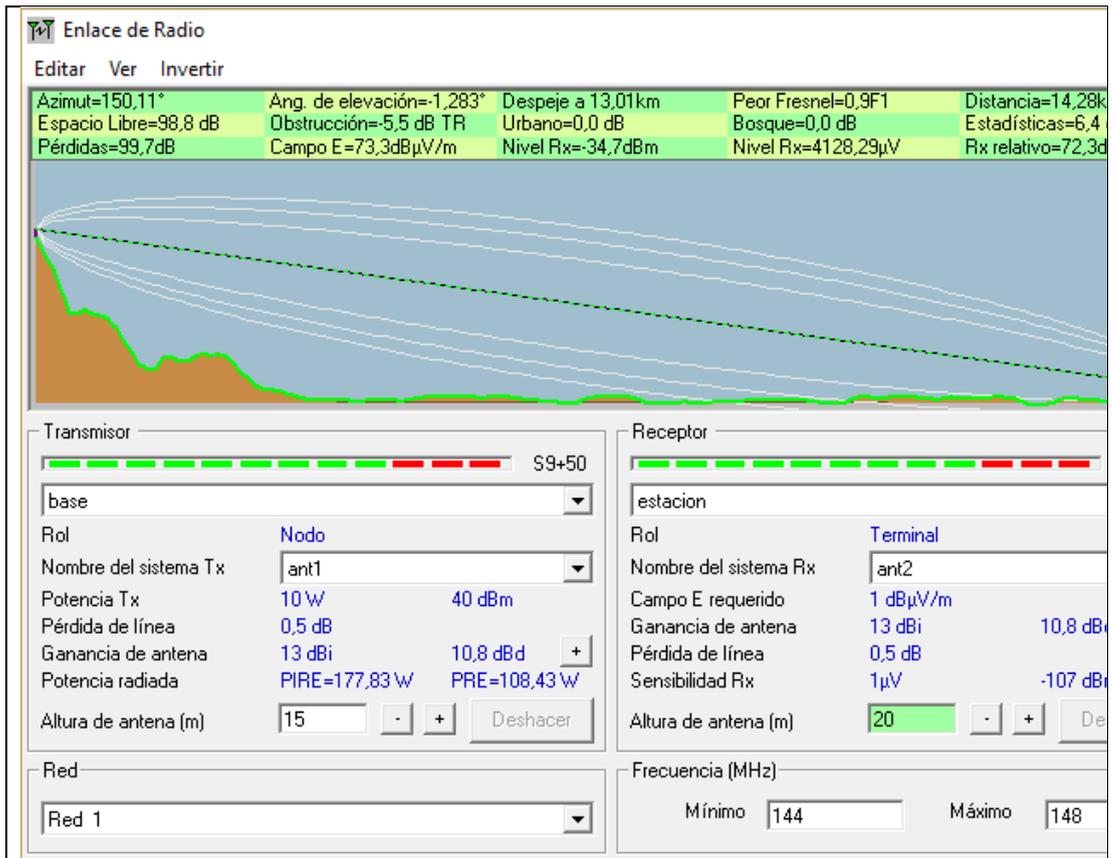


**Figura 20: Menú Sistemas.**

**Fuente: Autor.**

Luego de esto, dar clic en OK para finalizar con las características de los enlaces. Después de cerrar la ventana, se pueden observar los puntos creados en el mapa.

Para poder ver las características de cada enlace, hacer clic en el botón , en el cual podremos ver la traficación del terreno y la ubicación en las antenas en conjunto con datos como la zona de Fresnel, potencias de recepción, azimuts y elevaciones de cada antena.



**Figura 21: Pantalla simulación Radio Mobile.  
Fuente: Autor.**

Para saber cómo será tentativamente el diagrama de radiación en esa ubicación en caso de instalación física de la antena, ir al botón . Situar cual ser ala antena principal y seleccionar a la antena que se desea apuntar para saber su dirección y hacer clic en dibujar.

**Figura 22: Configuración de estación.**  
Fuente: Autor.

### Enlace Punto a Punto

Posicionar el mapa en la ciudad de Guayaquil, con un radio de 50 km.

Establecer una unidad transmisora situada en el Cerro Azul y una unidad receptora situada a una distancia mínima de 10 Km desde la unidad transmisora.

Establecer las frecuencias mínimas y máximas según la tabla.

| PARAMETROS | FRECUENCIA | RANGO  |
|------------|------------|--------|
|            | Máxima     | 3.5GHz |
|            | Mínima     | 3.3GHz |

**Tabla 1: Tabla de frecuencias mínima y máxima.**  
Fuente: Autor.

Establecer 2 sistemas distintos, uno para la unidad transmisora y otro para la receptora siguiendo los datos de la tabla a continuación.

| <b>SISTEMA DE ANTENA TRANSMISORA</b> | <b>PARAMETRO</b>        | <b>TRANSMISORA</b> | <b>RECEPTORA</b> |
|--------------------------------------|-------------------------|--------------------|------------------|
|                                      | Potencia de transmisión | 28 [dBm]           | 15 [dBm]         |
|                                      | Sensibilidad            | -89 [dBm]          | -92 [dBm]        |
|                                      | Perdidas de Línea       | 1 [dBm]            | 0,5 [dBm]        |
|                                      | Ganancia de Antena      | 15 [dBi]           | 8 [dBi]          |
|                                      | Perdida por Cables      | 0,005 [dB/m]       | 0,005 [dB/m]     |
|                                      | Altura de Antena        | 5 [m]              | 1 [m]            |
|                                      | Tipo de Antena          | Yagi               | Yagi             |

**Tabla 2: Tabla de parámetros transmisor y receptor.**  
Fuente: Autor.

Verifique que en las unidades miembros del enlace (transmisora – receptora) se encuentren seleccionadas y apuntando una a la otra.

Verificar la conectividad del enlace si fuese necesario cambie los valores de altura (Torres), ganancia, o potencia de las antenas para establecer el enlace.

Guarde el mapa, y la red.

**Herramientas necesarias:**

- PC o Laptop personal con acceso a internet.
- Software de simulación Radio Mobile.

**Referencia de la guía:**

<http://www.ve2dbe.com/download/download.html>

**RESULTADO(S) OBTENIDO(S):**

El estudiante debe colocar los resultados obtenidos en la práctica con imágenes y descripciones de cada imagen.

**CONCLUSIONES:**

El estudiante debe colocar las conclusiones de las prácticas de acuerdo con los objetivos planteados.

**RÚBRICA DE REVISIÓN DE PRÁCTICA:**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Fecha de realización de la práctica:</b> |            |
| <b>Integrantes del Grupo:</b>               | 1.-<br>2.- |

|   | <b>Excelente</b> | <b>Muy Bueno</b> | <b>Bueno</b> | <b>Regular</b> | <b>Malo</b> | <b>Muy Malo</b> | <b>Observaciones</b> |
|---|------------------|------------------|--------------|----------------|-------------|-----------------|----------------------|
| <b>Calidad, orden, evidencia fotográfica y correcta estructuración del desarrollo de la práctica<br/>[ 30% del puntaje]</b> |                  |                  |              |                |             |                 |                      |
| <b>Sustentación correcta de las prácticas<br/>[ 30% del puntaje]</b>  |                  |                  |              |                |             |                 |                      |
| <b>Conclusiones de las prácticas<br/>[ 40% del puntaje]</b>   |                  |                  |              |                |             |                 |                      |
| <b>PUNTAJE:</b>   |                  |                  |              |                |             |                 | <b>/10</b>           |

**CARRERA:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**ASIGNATURA:**

**NRO.  
PRÁCTICA:**

4

**TÍTULO PRÁCTICA:** SIMULACIÓN DE ENLACES  
PUNTO – PUNTO Y PUNTO – MULTIPUNTO.

**Objetivo general:**

Establecer un presupuesto de enlace inalámbrico reconociendo los distintos componentes y valores necesarios para su óptimo funcionamiento considerando aspectos básicos de pérdidas de propagación.

**Objetivos específicos:**

- Calcular los parámetros básicos de una antena.
- Reconocer el procedimiento básico de diseño de un radioenlace y sus parámetros.
- Establecer un presupuesto de radioenlace tomando ubicaciones geográficas reales y confirmar su viabilidad.

**Instrucciones:**

1. Formar grupos de laboratorio para realizar la práctica.
2. Previo al desarrollo de la práctica el estudiante debe leer el documento de la misma e información relacionada.
3. El uso de materiales y equipos de laboratorio se deben manejar de acuerdo a las normas del laboratorio y a las indicaciones impartidas por el docente.
4. El laboratorio al finalizar la práctica debe quedar en orden y los equipos guardados en el lugar asignado por el docente.

**Actividades por desarrollar:**

Para el desarrollo de la práctica se necesita un pc de laboratorio o laptop personal donde se encuentra instalado Radio Mobile se realiza la simulación de un enlace punto a punto y un enlace punto multipunto, configurando los parámetros de antenas, patrón de radiación entre otros.

**Procedimiento:**

**Enlace Punto a Punto.**

Posicionar el mapa en la ciudad de Guayaquil, con un radio de 50 km.  
Establecer una unidad transmisora situada en el Campus Centenario de la UPS y otro punto en el Campus María Auxiliadora Vía a la Costa  
Establecer las frecuencias mínimas y máximas según la tabla.

| PARÁMETROS | FRECUENCIA | RANGO    |
|------------|------------|----------|
|            | Máxima     | 5725 MHz |
|            | Mínima     | 5850 MHz |

**Tabla 1: Tabla de frecuencias mínima y máxima.**  
Fuente: Autor.

Establecer 2 sistemas distintos, uno para la unidad transmisora y otro para la receptora siguiendo los datos de la tabla a continuación.

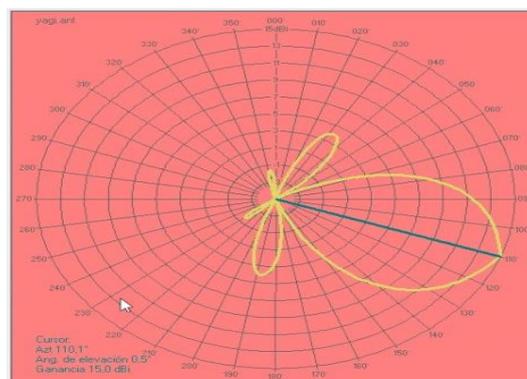
| SISTEMA DE ANTENA TRANSMISORA | PARAMETRO               | TRANSMISORA  | RECEPTORA    |
|-------------------------------|-------------------------|--------------|--------------|
|                               | Potencia de transmisión | 28 [dBm]     | 15 [dBm]     |
|                               | Sensibilidad            | -89 [dBm]    | -92 [dBm]    |
|                               | Perdidas de Línea       | 1 [dBm]      | 0,5 [dBm]    |
|                               | Ganancia de Antena      | 15 [dBi]     | 8 [dBi]      |
|                               | Perdida por Cables      | 0,005 [dB/m] | 0,005 [dB/m] |
|                               | Altura de Antena        | 5 [m]        | 5 [m]        |
|                               | Tipo de Antena          | Yagi         | Yagi         |

**Tabla 2: Tabla de parámetros de transmisor y receptor.**  
Fuente: Autor.

Verifique que en las unidades miembros del enlace (transmisora – receptora) se encuentren seleccionadas y apuntando una a la otra.  
Verificar la conectividad del enlace si fuese necesario cambie los valores de altura (Torres), ganancia, o potencia de las antenas para establecer el enlace.  
Realice una captura de pantalla del enlace y de la cobertura realizada.  
Guarde el mapa, y la red.

### Enlace Punto a Multipunto.

Dado el siguiente patrón de radiación calcule:



**Figura 1: Patrón de radiación de antena**  
Fuente: Autor.

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| Directividad           | $D = \frac{4\pi}{\theta_1\theta_2}$        |  |
| Relación Delante-Atrás | $\frac{F}{B} = \frac{P_{front}}{P_{back}}$ |  |

**Tabla 3: Tabla de Directividad.**  
Fuente: Autor.

Sitúe el mapa en la ciudad de Guayaquil, con un radio de cobertura de 50 [Km].

Establecer una estación transmisora situada en algún cerro que este situado a los alrededores de la ciudad y a continuación, ubicar una estación receptora situada a una distancia mínima de 10 Km desde la unidad transmisora.

|                            | LATITUD | LONGITUD |
|----------------------------|---------|----------|
| <b>CERRO</b>               |         |          |
| <b>RECEPTORA A 20 [Km]</b> |         |          |

**Tabla 4: Tabla de coordenadas.**  
Fuente: Autor.

Con la finalidad de obtener línea de vista entre el transmisor y el receptor, revise el perfil del terreno, calcule el radio de Fresnel y calcule la altura de las antenas:

- ¿El perfil del terreno es el adecuado? (Inserte Captura de Pantalla)
- ¿El radio de Fresnel cumplen con el mínimo del 60%? (Frecuencia: 3.3 – 3.5 [GHz])

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} =$$

- ¿Cuál sería la altura mínima para que exista LOS?
- ¿Cuál sería la potencia mínima del Tx para una sensibilidad de  $S_{Rx} = -80[dBm]$ ? ( $P_{Txmax} = 28[dBm]$ )
- ¿Cuál es la altura máxima que debería tener un obstáculo localizado en el centro del trayecto para que no afecte el enlace?

Con los parámetros del paso anterior, crea un sistema para la unidad transmisora (llenar los espacios con \*)

| SISTEMA DE ANTENA TRANSMISORA | PARAMETRO               | TRANSMISORA | RECEPTORA   |
|-------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|
|                               | Potencia de transmisión | *[dBm]      |             |
|                               | Sensibilidad            |             | -89[dBm]    |
|                               | Perdidas de Línea       | 1[dBm]      |             |
|                               | Ganancia de Antena      | *[dBi]      |             |
|                               | Perdida por Cables      | 0,005[dB/m] |             |
|                               | Altura de Antena        | *[m]        | *[m]        |
|                               | Tipo de Antena          | Yagi        | Yagi        |
|                               | Rango de frecuencias    | 3.3         | - 3.5 [GHz] |

**Tabla 5: Tabla de parámetros de antenas transmisora y receptora.**  
Fuente: Autor.

Calcule las pérdidas de camino:

$$L_{path} = 32,4 + 20 \log \log (d[Km]) + 20 \log \log (f[MHz]) =$$

Realice una captura de pantalla del enlace

¿Cuál es la potencia recibida por el receptor?

Realice una captura de pantalla de la cobertura de la antena del cerro del Carmen.

Guarde los archivos (\*.net, \*.map, \*.bmp).

#### **Agregar otra estación al sistema.**

Dentro del mismo radio de cobertura especificado, ubicar a consideración otra antena en algún punto de interés en la ciudad de guayaquil.

Crear una red y un sistema nuevo para esta antena, que se asemeje a la primera estación, cabe recalcar que en la red la antena debe apuntar a la estación del cerro.

Escriba a continuación los valores de azimut de la estación principal (cerro) con respecto a las dos estaciones. Y el ángulo de abertura del haz de la antena principal.

| Azimut enlace 1 | Azimut enlace2 | Diferencia | Angulo cobertura. |
|-----------------|----------------|------------|-------------------|
|                 |                |            |                   |

**Tabla 6: Tabla de valores de azimut.  
Fuente: Autor.**

¿Es la diferencia de azimut de estos 2 enlaces, menor que el ángulo de cobertura del haz de la antena central? En Caso de no serlo, reubicar la segunda antena en alguna ubicación cuya diferencia de azimut sea inferior al ángulo de cobertura de la antena central.

**NOTA:**

Para un enlace punto-multipunto es estrictamente necesario que las antenas receptoras o CPE's se encuentren ubicadas dentro del ángulo de cobertura de la antena central para poder lograr comunicación para todos los puntos, caso contrario, habrá estaciones que no podrán conectarse o su conexión será muy pobre.

**Herramientas necesarias:**

- PC o Laptop personal con acceso a internet.
- Software de simulación Radio Mobile.

**Referencia de la guía:**

<http://www.ve2dbe.com/download/download.html>

**RESULTADO(S) OBTENIDO(S):**

El estudiante debe colocar los resultados obtenidos en la práctica con imágenes y descripciones de cada imagen.

**CONCLUSIONES:**

El estudiante debe colocar las conclusiones de las prácticas de acuerdo con los objetivos planteados.

**RÚBRICA DE REVISIÓN DE PRÁCTICA:**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Fecha de realización de la práctica:</b> |            |
| <b>Integrantes del Grupo:</b>               | 1.-<br>2.- |

|   | <b>Excelente</b> | <b>Muy Bueno</b> | <b>Bueno</b> | <b>Regular</b> | <b>Malo</b> | <b>Muy Malo</b> | <b>Observaciones</b> |
|---|------------------|------------------|--------------|----------------|-------------|-----------------|----------------------|
| <b>Calidad, orden, evidencia fotográfica y correcta estructuración del desarrollo de la práctica [ 30% del puntaje]</b> |                  |                  |              |                |             |                 |                      |
| <b>Sustentación correcta de las prácticas [ 30% del puntaje]</b>  |                  |                  |              |                |             |                 |                      |
| <b>Conclusiones de las prácticas [ 40% del puntaje]</b>   |                  |                  |              |                |             |                 |                      |
| <b>PUNTAJE:</b>   |                  |                  |              |                |             |                 | <b>/10</b>           |

**CARRERA:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**ASIGNATURA:**

**NRO. PRÁCTICA:**

5

**TÍTULO PRÁCTICA:** INTRODUCCIÓN AL MANEJO DE EQUIPOS DE RADIOENLACE.

**Objetivo general:**

Configurar un radioenlace real mediante el empleo de antenas adecuadas para este tipo de comunicación, estudiar y comprender sus características, identificar los equipos en puntos específicos dentro de la zona correspondiente a la Universidad Politécnica Salesiana.

**Objetivos específicos:**

- Reconocer parámetros y características de equipos y antenas.
- Verificar parámetros de propagación.
- Establecer los puntos de ubicación de las antenas en la UPS-GYE.
- Realizar cálculos teóricos del enlace.

**Instrucciones:**

1. Formar grupos de laboratorio para realizar la práctica.
2. Previo al desarrollo de la práctica el estudiante debe leer el documento de la misma e información relacionada.
3. El uso de materiales y equipos de laboratorio se deben manejar de acuerdo a las normas del laboratorio y a las indicaciones impartidas por el docente.
4. El laboratorio al finalizar la práctica debe quedar en orden y los equipos guardados en el lugar asignado por el docente.

**Actividades por desarrollar:**

Durante el desarrollo de la práctica se da indicaciones para la conexión, configuración e interacción con los equipos de radioenlaces, desde los conocimientos e indicaciones técnicas modo de configuración y pruebas de verificación del establecimiento de radioenlaces.

**Procedimiento:**

**Cálculo teórico de enlace punto a punto.**

Buscar el datasheet de las antenas a utilizar y completar la tabla

|                     |  |
|---------------------|--|
| Potencia TX         |  |
| Ganancia antena     |  |
| Sensibilidad máxima |  |

**Tabla 1: Tabla de datos de antena.**  
Fuente: Autor.

Calcular la distancia entre la terraza de los Bloques D y Joya usando Google Earth Pro.  
Pegar una captura de pantalla.

|                      |  |
|----------------------|--|
| Distancia enlace PTP |  |
|----------------------|--|

**Tabla 2: Tabla de distancia de enlace.**  
Fuente: Autor.

Realizar los cálculos teóricos correspondientes a un enlace punto a punto con los valores obtenidos previamente y una frecuencia de operación de 5200 MHz.  
Despreciando cálculos por pérdidas de camino.  
Pegar imagen del tamaño de la hoja.

### Enlace Punto a Punto.

Previo a conectar los equipos es necesario ensamblarlos, un proceso intuitivo ya que se cuentan con pocas piezas fáciles de identificar.



**Figura 1: Antena y complementos.**  
Fuente: Autor.

Buscar el diagrama de radiación del equipo en internet y calcular los siguientes parámetros.

Pegar el diagrama de radiación.

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| Angulo de cobertura    | $\theta$                                   |  |
| Directividad           | $D = \frac{4\pi}{\theta_1\theta_2}$        |  |
| Relación Delante-Atrás | $\frac{F}{B} = \frac{P_{front}}{P_{back}}$ |  |

**Tabla 3: Tabla de parámetros de antenas 1.**

Fuente: Autor.

Buscar en la guía del usuario o internet la IP y credenciales por defecto de los equipos.

|                        |  |
|------------------------|--|
| IP por defecto         |  |
| Usuario por defecto    |  |
| Contraseña por defecto |  |

**Tabla 4: Tabla de valores por defecto de configuración de antena.**

Fuente: Autor.

Identificar los puertos ethernet del dispositivo de alimentación de las antenas.

¿Qué puerto posee electricidad y transferencia de datos? \_\_\_\_\_

¿Qué puerto únicamente posee transferencia de datos? \_\_\_\_\_

Realizar las conexiones respectivas entre el tomacorriente, el dispositivo de alimentación, antena y PC.

¿Qué puerto es correcto conectar al PC? \_\_\_\_\_

¿Qué puerto es adecuado para habilitar la antena con energía? \_\_\_\_\_

Ubicar momentáneamente los equipos de tal manera que estén cara a cara uno al otro y tengan línea de vista (dentro del aula de clases.)



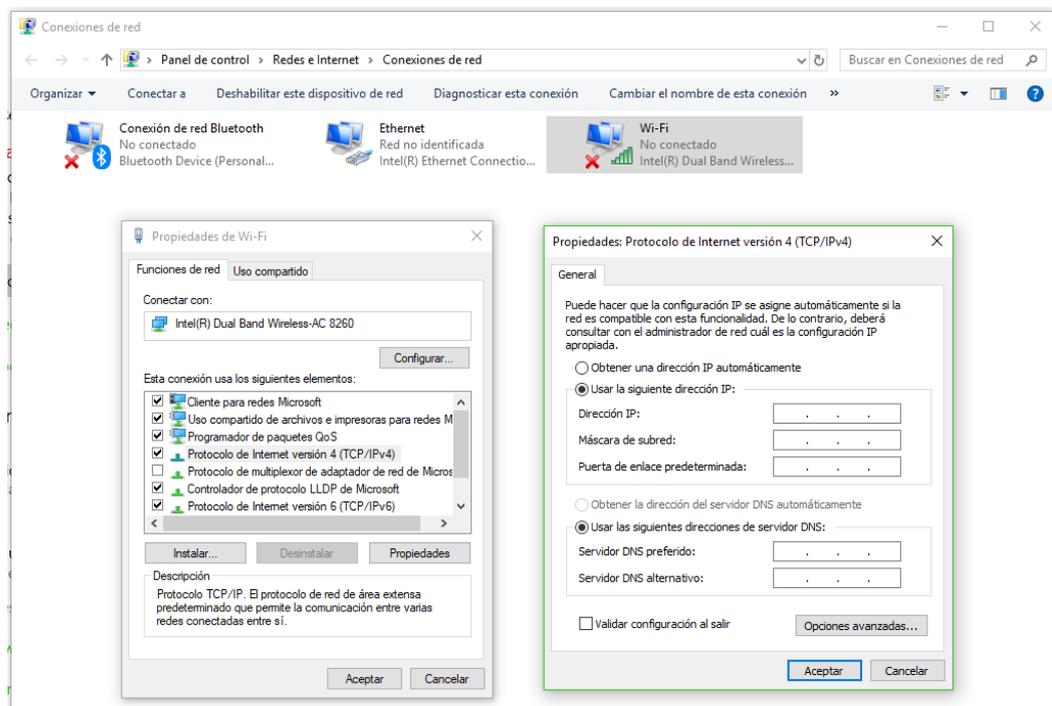
**Figura 2: Ejemplo de orientación de antenas.**  
Fuente: Autor.

Abrir la ventana de comandos de Windows y hacer ping a la Ip por defecto de la antena.

¿Hay respuesta del equipo? \_\_\_\_\_

Pegar una captura de pantalla del ping.

En caso de ser “NO” la respuesta, deberá usted modificar los parámetros de red del pc de tal manera que se encuentre dentro del segmento de red correspondiente a la antena.



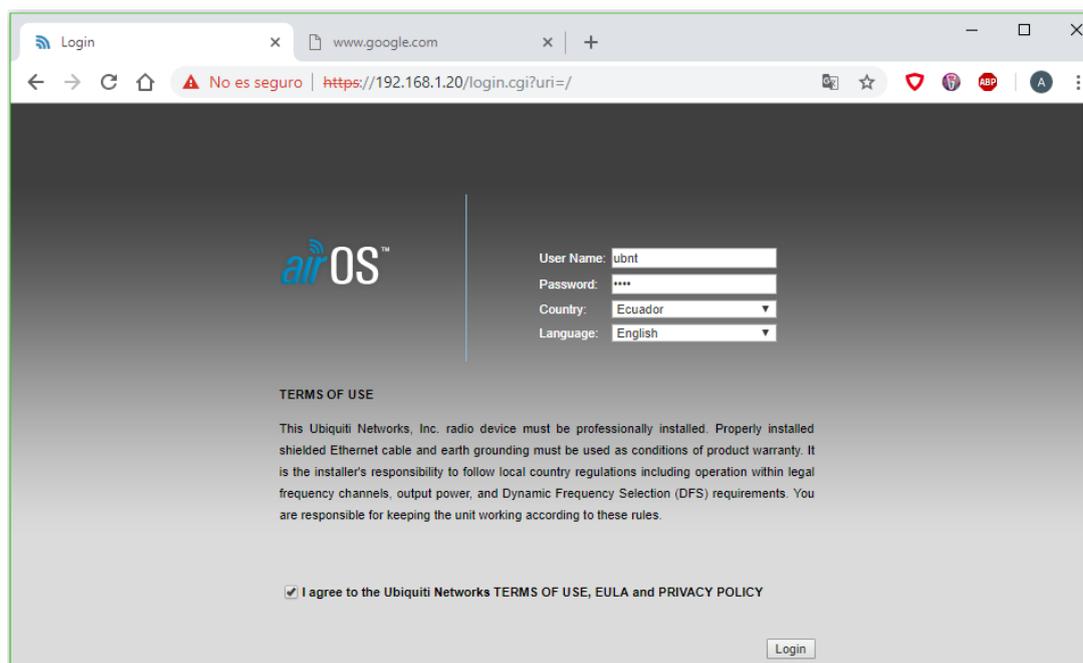
**Figura 3: Configuración de red.**  
Fuente: Autor.

Pegar una captura de pantalla de los valores ingresados.

Repetir las acciones del paso 4.1.5. y verificar si hay respuesta del equipo.  
Pegar una captura de pantalla del ping.

En caso de tener respuesta del dispositivo, abrir el navegador y digitar la IP del dispositivo en la barra de búsqueda. En caso de aparecer un error en el navegador, hacer clic en Avanzado y continuar de todas formas al sitio (para Google Chrome) o añadir excepción de seguridad (Para Mozilla Firefox)

Ingresar el usuario y contraseña por defecto del dispositivo, llenar los valores extra y aceptar términos y condiciones (de preferencia dejar el idioma en INGLÉS).



**Figura 4: Ingreso a configuración de antenas.**

**Fuente: Autor.**

Se encuentran varias pestañas en el ambiente de configuración, en las cuales se presta atención en las primeras 4 (Main, Wireless, Network, Advanced).

La pestaña MAIN muestra inicialmente un resumen general de la configuración por defecto del equipo.

La pestaña WIRELESS muestra campos de configuración para el enlace punto-punto.

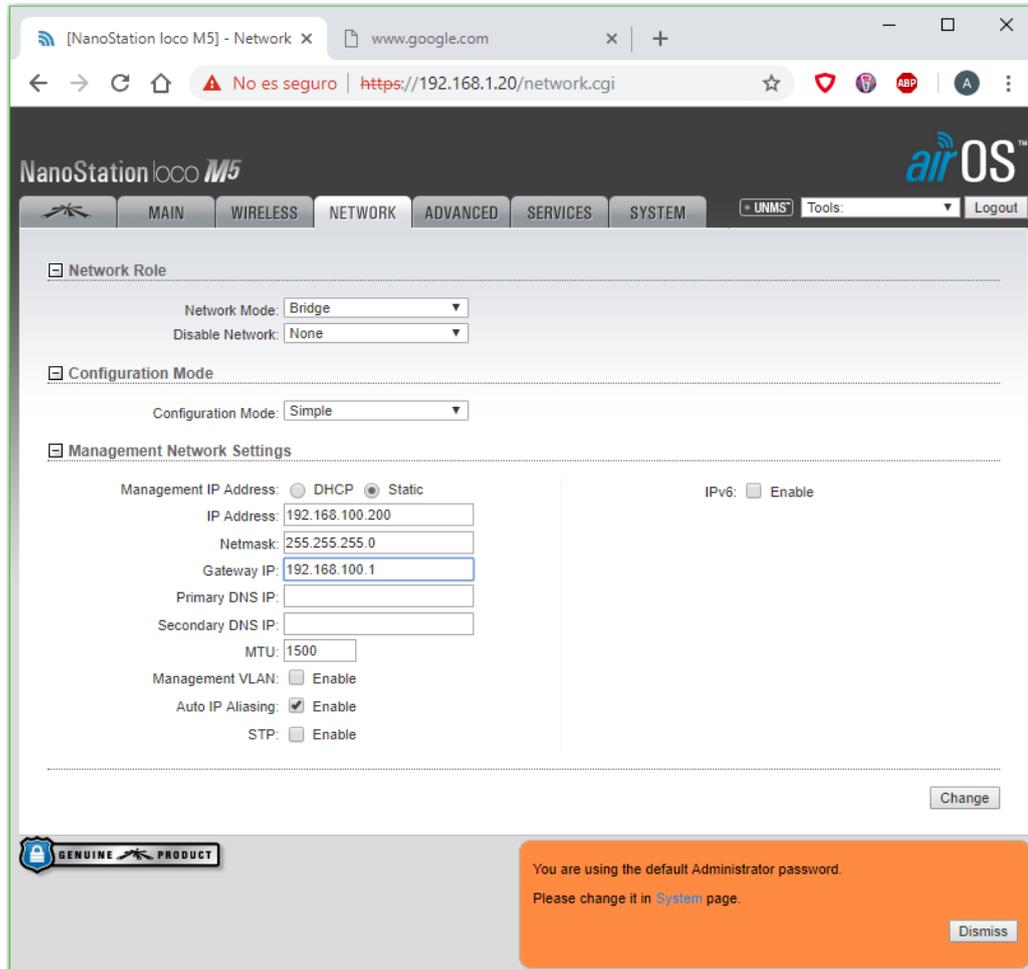
La pestaña NETWORK muestra campos de configuración de red del equipo para ser modificados y configurar las antenas dentro de la LAN.

La pestaña ADVANCED muestra campos de configuración avanzados de las dos pestañas anteriores.

Saltar a la pestaña NETWORK.

- En la opción NETWORK MODE seleccionar Bridge.
- Elegir el modo de configuración simple.
- En MANAGEMEN IP ADDRESS seleccionar direccionamiento estático.
- Modificar la dirección IP por 192.168.100.200.

- La máscara de red será /24.
- Cambiar el GATEWAY por 192.168.100.1.
- Clic en change/guardar.
- En la parte superior, aparece una barra celeste, hacer clic en APPLY para guardar los cambios. Esperar 1 minuto mientras el equipo reinicia.



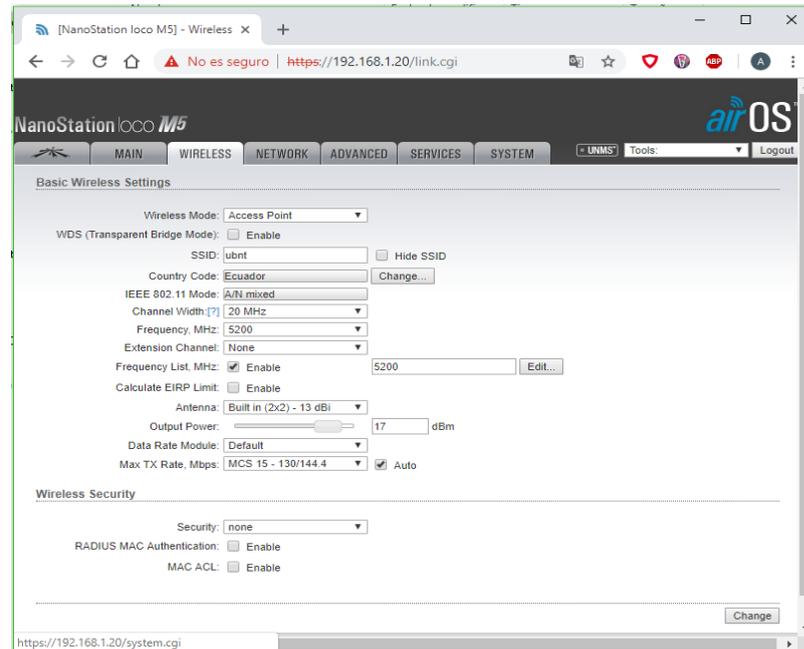
**Figura 5: Configuración de red de antena.**  
Fuente: Autor.

Aparecerá una ventana emergente que solicita hacer el cambio de contraseña, la nueva contraseña será: upsgye.

Se procede a entrar a la pestaña WIRELESS para configurar el MASTER del enlace inalámbrico.

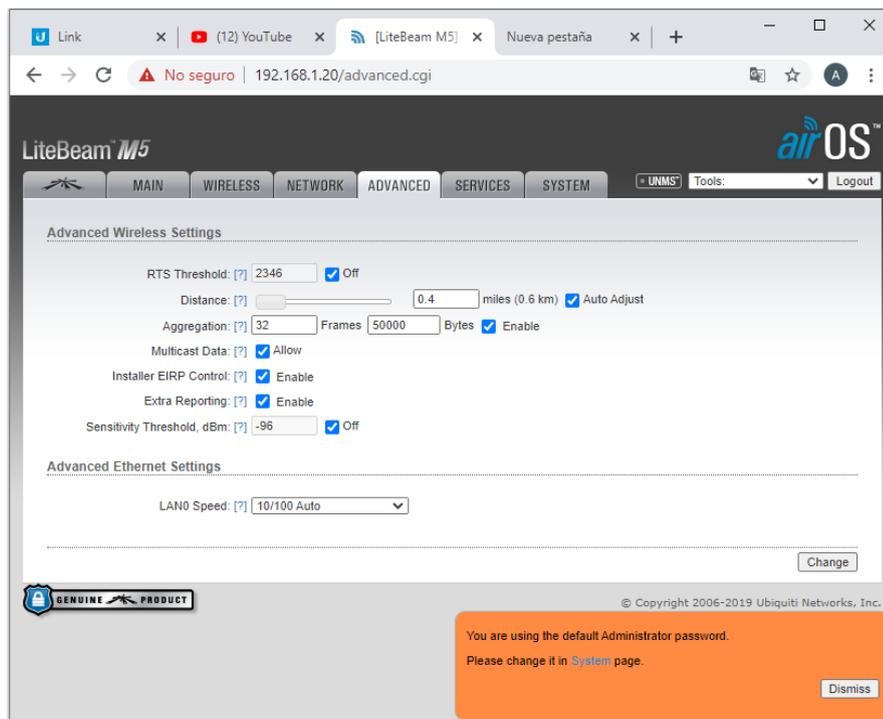
- Para esto es necesario que el valor WIRELESS MODE se encuentre en ACCESS POINT.
- En la opción SSID nombraremos el enlace UPSGYETEST con contraseña upstest.
- El COUNTRY CODE deberá estar acorde al país.
- Cambiar el ancho del canal a 30 MHz.
- La frecuencia a elegir será 5200 MHz.
- En la opción de FREQUENCY LIST seleccionar nuevamente 5200 MHz dando clic el botón EDIT.
- En la sección de WIRELESS SECURITY, habilitar la opción SECURITY con la opción WPA2-AES, con autenticación PSK, y digitamos la contraseña: Abcd12345.

- Clic en guardar, hacer clic en APPLY para guardar los cambios. Esperar 1 minuto mientras el equipo reinicia.



**Figura 6: Configuración de antena.**  
Fuente: Autor.

Omitir la pestaña ADVANCED y habilitar la opción INSTALLER EIRP CONTROL. y de vuelta en la pestaña Wireless, deshabilitar la opción CALCULATE EIRP LIMIT. Esto es para poder manipular libremente la potencia de transmisión del equipo acorde a cálculos realizados previamente en clases como presupuesto de enlace.



**Figura 7: Configuración de potencia de antena.**  
Fuente: Autor.

- Clic en guardar, hacer clic en APPLY para guardar los cambios. Esperar 1 minuto mientras el equipo reinicia.
- Ahora el OUTPUT POWER se puede configurar entre los valores mínimo y máximo del equipo.

Dejar el MASTER encendido y proceder a realizar las conexiones respectivas para encender el segundo equipo que trabajará como ESTACIÓN.

Repetir los pasos desde el 4.1.5 hasta el 4.1.12. con la DIFERENCIA que la dirección IP de la estación será 192.168.100.201.

Al seleccionar la pestaña WIRELESS debemos empezar por elegir la opción STATION.

Luego en la opción SSID hacer clic en el botón select aparecerá una pequeña ventana donde veremos que el dispositivo empieza a hacer un análisis de las redes inalámbricas cercanas, elegir la red previamente creada en el MASTER.

### **Cálculo teórico de enlace punto – multipunto.**

Buscar el datasheet del equipo Rocket antenas y la antena sectorial, luego completar la tabla

|                     |  |
|---------------------|--|
| Potencia TX         |  |
| Ganancia antena     |  |
| Sensibilidad máxima |  |

**Tabla 5: Tabla de parámetros de antena sectorial.**  
Fuente: Autor.

Buscar el datasheet de las antenas estaciones a utilizar y completar la tabla

|                     |  |
|---------------------|--|
| Potencia TX         |  |
| Ganancia antena     |  |
| Sensibilidad máxima |  |

**Tabla 6: Tabla de parámetros de antenas de estaciones.**  
Fuente: Autor.

Realizar los cálculos teóricos correspondientes a un enlace punto a punto con los valores obtenidos previamente para las distancias y una frecuencia de operación de 5300 MHz. haciendo cálculos por pérdidas de camino con distancia de 1km al menos. Es necesario realizar de manera separada por cada enlace.

### Identificación y reconocimiento de equipos.

Buscar el diagrama de radiación del equipo en internet y calcular los siguientes parámetros.

Pegar el diagrama de radiación de la antena sectorial.

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| Angulo de cobertura    | $\theta$                                   |  |
| Directividad           | $D = \frac{4\pi}{\theta_1\theta_2}$        |  |
| Relación Delante-Atrás | $\frac{F}{B} = \frac{P_{front}}{P_{back}}$ |  |

**Tabla 7: Tabla de parámetros de antena sectorial.**  
Fuente: Autor.

Pegar el diagrama de radiación de los equipos estaciones.

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| Angulo de cobertura    | $\theta$                                   |  |
| Directividad           | $D = \frac{4\pi}{\theta_1\theta_2}$        |  |
| Relación Delante-Atrás | $\frac{F}{B} = \frac{P_{front}}{P_{back}}$ |  |

**Tabla 8: Tabla de parámetros de antenas de estaciones.**  
Fuente: Autor.

Buscar en la guía del usuario o internet la IP y credenciales por defecto de los equipos.

|                        |  |
|------------------------|--|
| IP por defecto         |  |
| Usuario por defecto    |  |
| Contraseña por defecto |  |

**Tabla 9: Tabla de configuración de usuarios.**  
Fuente: Autor.

### Conexiones físicas.

Es común ver que los equipos para comunicaciones inalámbricas vienen el equipo transmisor integrado junto a la antena, pero para enlaces inalámbricos con grandes requisitos de conexión y sistemas punto – multipunto, suelen requerir configuraciones modulares, donde se acopla la antena al equipo transmisor y se realizan conexiones específicas para su correcto funcionamiento.

Previo a la configuración es necesario conectar la antena al equipo transmisor, estas conexiones son con cable coaxial y conectores SMB, los cuales vienen parte del pack de la antena.

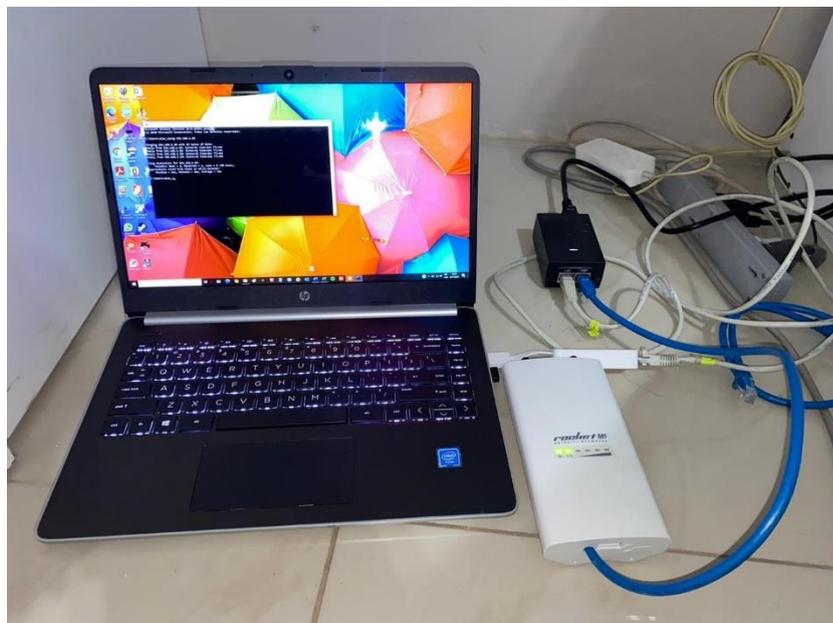


**Figura 8: Equipo de transmisión Rocket M5.**  
Fuente: Autor.

Identificar el acople fijo del equipo transmisor a la antena, no es necesario fijar aún. Acorde a ese acople se deben conectar los cables coaxiales para que la antena correctamente polarizada, los cables coaxiales deben ir rectos, conectar izquierda transmisor - izquierda antena, así mismo la derecha.

A la hora de fijar el equipo transmisor, evitar que los cables coaxiales sufran dobleces extremos que puedan romper el cobre al interior de él, por tanto, el dobléz debe lo más delicado y con mayor abertura posible.

Luego que el equipo este acoplado es posible, realizar las conexiones comunes de estos equipos haciendo uso del power inyector, donde POE va hacia la antena en el MAIN y LAN hacia la computadora o switch para su configuración.



**Figura 9: Configuración de Rocket M5.**  
Fuente: Autor.

## Configuración de la red.

Ubicar el botón de reset de la antena y mantenerlo presionado por aproximadamente 10 segundos, para configurar los valores por defecto del equipo en caso que estos hayan sido modificados.

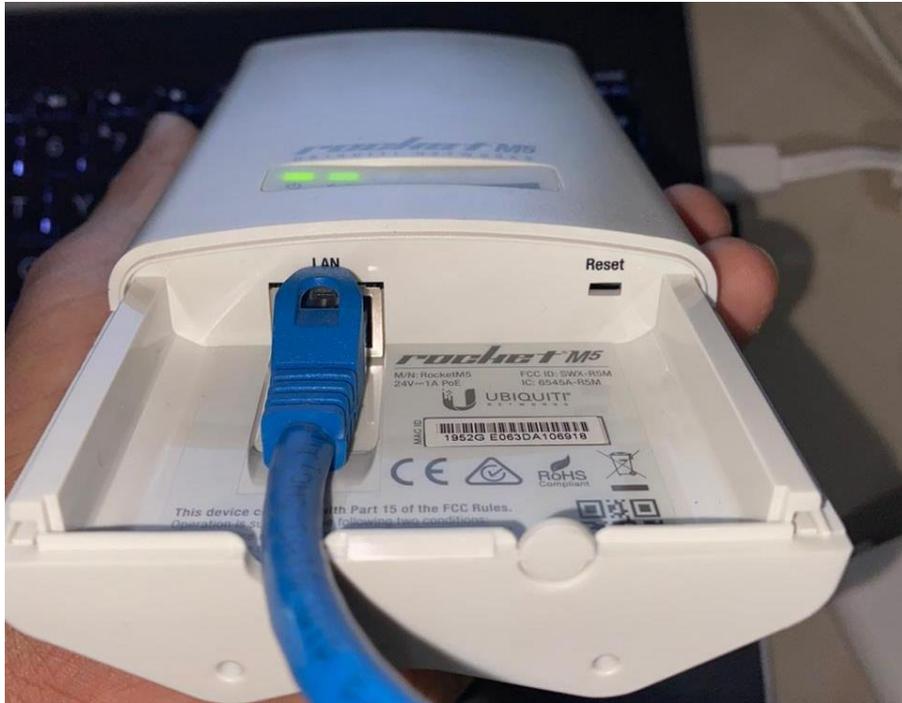


Figura 10: Conexión de equipos 1.  
Fuente: Autor.

Conectar el puerto LAN del power injector a la computadora.

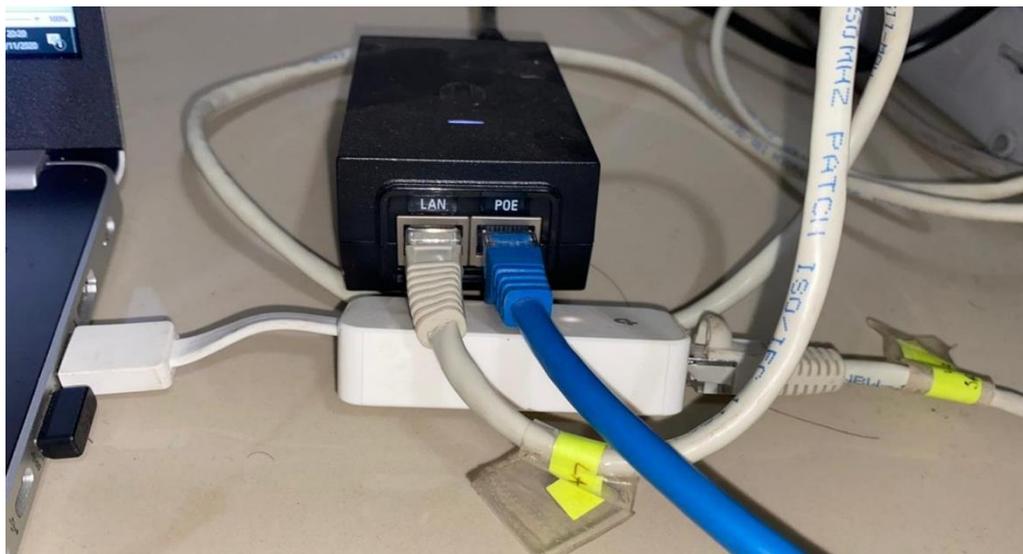
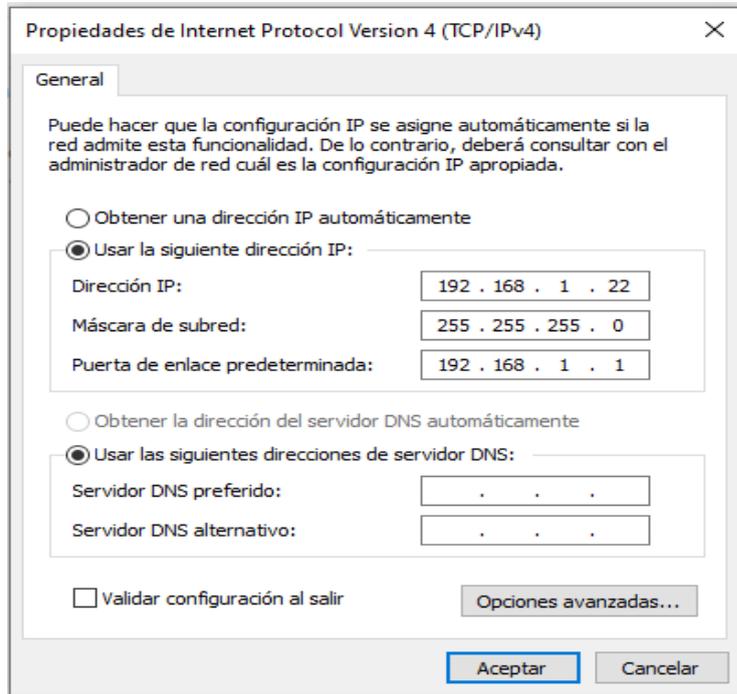


Figura 11: Conexión de equipos 2.  
Fuente: Autor.

Modificar los parámetros de red de la computadora a punto que se encuentre en el segmento de red de la antena para su configuración y conectarse mediante el navegador web al equipo transmisor con su Ip y credenciales por defecto.



**Figura 12: Configuraciones de Ips en equipos.**  
Fuente: Autor.

Aplicar cambios al equipo transmisor:

|            |                            |
|------------|----------------------------|
| Red        | 192.168.100.0              |
| IP         | Dentro del rango de la red |
| Mascara    | /24                        |
| Gateway    | Ip del router              |
| Operación  | AP repeater                |
| Frecuencia | 5210 MHz                   |
| SSID       | UPSGYETEST                 |
| Password   | upstest                    |

**Tabla 9: Tabla de parámetros de equipo transmisor.**  
Fuente: Autor.

Para el equipo direccional configurado previamente como AP repeater habrá que repetir de los pasos 4.4.2 al 4.4.4 para cambiar la operación del equipo a Station, ubicarlo a la misma frecuencia del equipo central y conectarse a la SSID que emite esta antena central.

NOTA: Es necesario que el equipo central siga encendido y a la hora de conectar el equipo a la SSID es estrictamente necesario que los CPE estén apuntando al equipo central.

Desconectar los equipos, ubicarlos en los trípodes y ubicarlos en las terrazas de los edificios B D y E, el central debe estar ubicado en un edificio que sea capaz de cubrir a los otros 2 para que se conecten los CPE.

En el puerto LAN del central debe estar el router configurado previamente.

Conectar computadoras en los puertos LAN de los power inyector de los CPE, en la conexión de red de la computadora debe estar como DHCP.

Abrir la ventana de comando de Windows y escribir el comando ipconfig, y realizar ping a todos los equipos de red de esta red LAN:

Central.

Cpe1, Cpe2.

Laptop en cpe2.

Router.

Pegar imágenes de la instalación física de los equipos, el resultado del comando ipconfig y todos los pings realizados.

### **Herramientas**

#### **necesarias:**

- 6 Patch cords utp cat 6.
- 2 antenas Direccionales 5 GHz.
- 1 antena Sectorial 120 grados.
- 1 equipo Transmisor 5GHz.
- 3 PoE 24v 0.5<sup>a</sup>.
- Tomacorrientes habilitados con energía.

#### **Referencia de la guía:**

<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/5860/1/ICE59.pdf>

[https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-5-199708-S!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-5-199708-S!!PDF-S.pdf)

#### **RESULTADO(S) OBTENIDO(S):**

El estudiante debe colocar los resultados obtenidos en la práctica con imágenes y descripciones de cada imagen.

#### **CONCLUSIONES:**

El estudiante debe colocar las conclusiones de las prácticas de acuerdo con los objetivos planteados.

**RÚBRICA DE REVISIÓN DE PRÁCTICA:**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Fecha de realización de la práctica:</b> |            |
| <b>Integrantes del Grupo:</b>               | 1.-<br>2.- |

|   | Excelente | Muy Bueno | Bueno | Regular | Malo | Muy Malo | Observaciones |
|---|-----------|-----------|-------|---------|------|----------|---------------|
| <b>Calidad, orden, evidencia fotográfica y correcta estructuración del desarrollo de la práctica<br/>[ 30% del puntaje]</b> |           |           |       |         |      |          |               |
| <b>Sustentación correcta de las prácticas<br/>[ 30% del puntaje]</b>  |           |           |       |         |      |          |               |
| <b>Conclusiones de las prácticas<br/>[ 40% del puntaje]</b>   |           |           |       |         |      |          |               |
| <b>PUNTAJE:</b>   |           |           |       |         |      |          | <b>/10</b>    |

**CARRERA:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**ASIGNATURA:**

**NRO. PRÁCTICA:**

6

**TÍTULO PRÁCTICA:** IMPLEMENTACIÓN DE ENLACE PUNTO A PUNTO CON ANTENAS A 5 GHZ.

**Objetivo general:**

Establecer un radioenlace real mediante el empleo de antenas de la marca Ubiquiti, situando los equipos en puntos específicos dentro del perímetro urbano.

**Objetivos específicos:**

- Verificar parámetros básicos de propagación.
- Establecer los puntos de ubicación de las antenas
- Realizar una simulación del enlace inalámbrico a establecer.
- Configurar e instalar las antenas

**Instrucciones:**

1. Formar grupos de laboratorio para realizar la práctica.
2. Previo al desarrollo de la práctica el estudiante debe leer el documento de la misma e información relacionada.
3. El uso de materiales y equipos de laboratorio se deben manejar de acuerdo a las normas del laboratorio y a las indicaciones impartidas por el docente.
4. El laboratorio al finalizar la práctica debe quedar en orden y los equipos guardados en el lugar asignado por el docente.

**Actividades por desarrollar:**

Durante el desarrollo de la práctica se realiza un enlace punto a punto tanto su simulación en Radio Mobile como su implementación física utilizando el juego de equipos armados para la práctica.

**Procedimiento:**

**Selección de ubicación de enlace punto a punto.**

Luego de hacer un estudio del perímetro urbano se decide establecer el enlace inalámbrico entre las estaciones de Aerovía estación 4 Mosqueteros (E04) y estación Duran (E05).

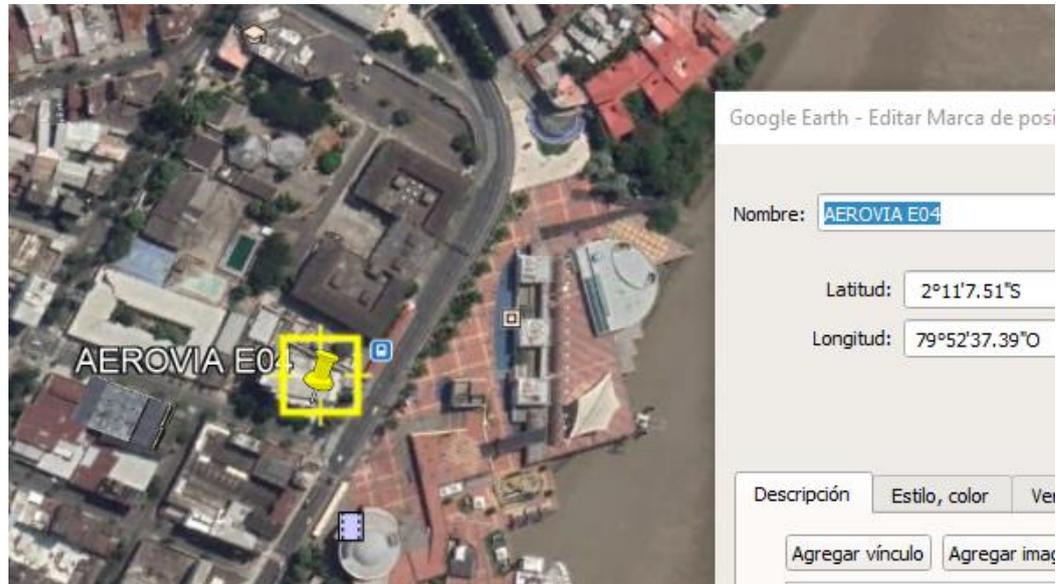
Obtención de coordenadas de ubicaciones del enlace

Mediante el uso de Google Earth se obtienen las ubicaciones de los puntos elegidos para establecer el enlace, estos puntos obtenidos son dados en coordenadas de grados decimales (DD) y Grados, minutos y segundos (DMS).

**Estación 4 Mosqueteros (E04):**

DMS: 2°11'07.1"S 79°52'37.8"W

DD: -2.185295, -79.877152

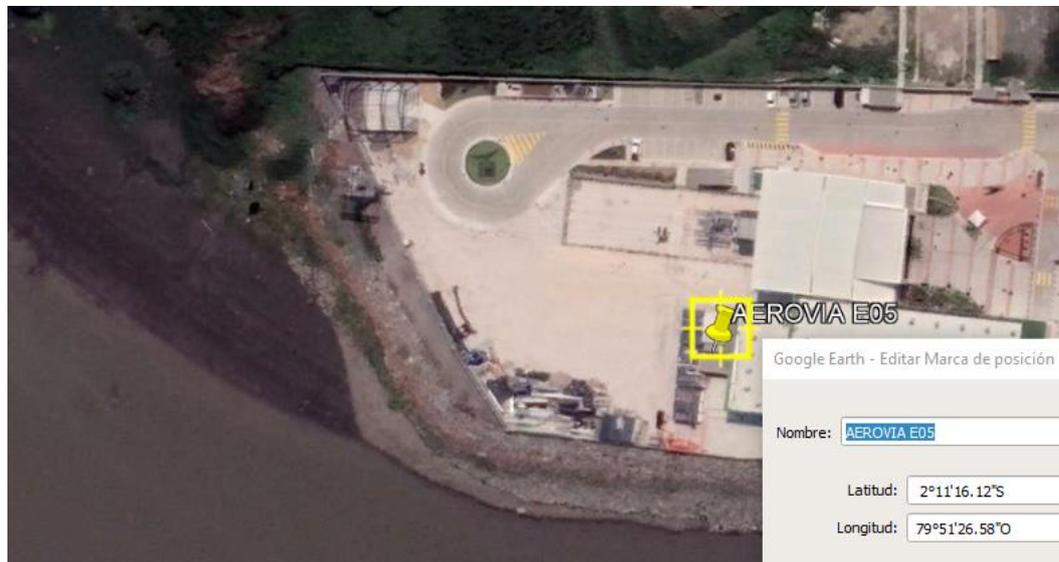


**Figura 1: Coordenadas de ubicación estación 4 mosqueteros.**  
Fuente: Autor.

**Estación Duran (E05):**

DMS: 2°11'16.1"S 79°51'26.6"W

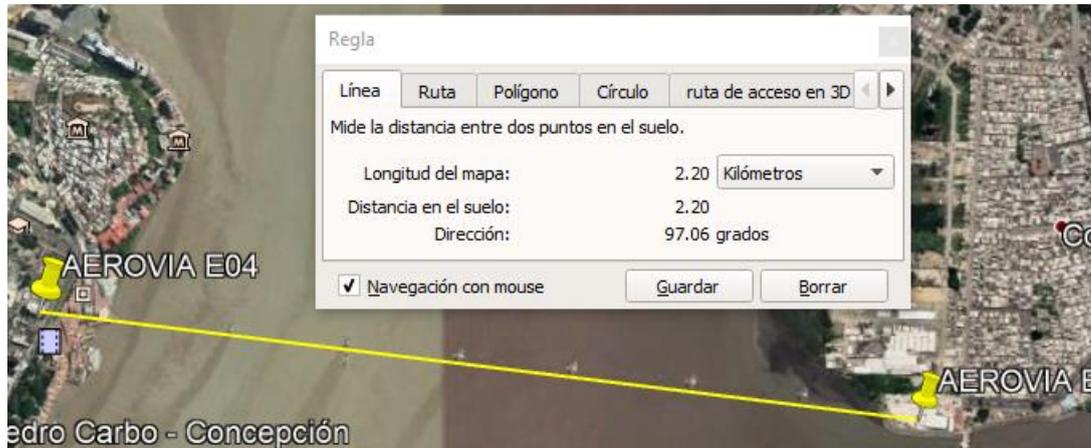
DD: -2.187812, -79.857384



**Figura 2: Coordenadas de ubicación estación Durán.**  
Fuente: Autor.

**Medición de distancia.**

Se hace uso de una herramienta propia de Google Earth que calcula la distancia entre 2 puntos que le usuario decida, en este caso, las ubicaciones obtenidas. Evidenciando que la distancia cumple con el requisito mínimo de 1 Km, distancia obtenida 2.20 Km.



**Figura 3: Distancia entre los puntos del enlace.**  
Fuente: Autor.

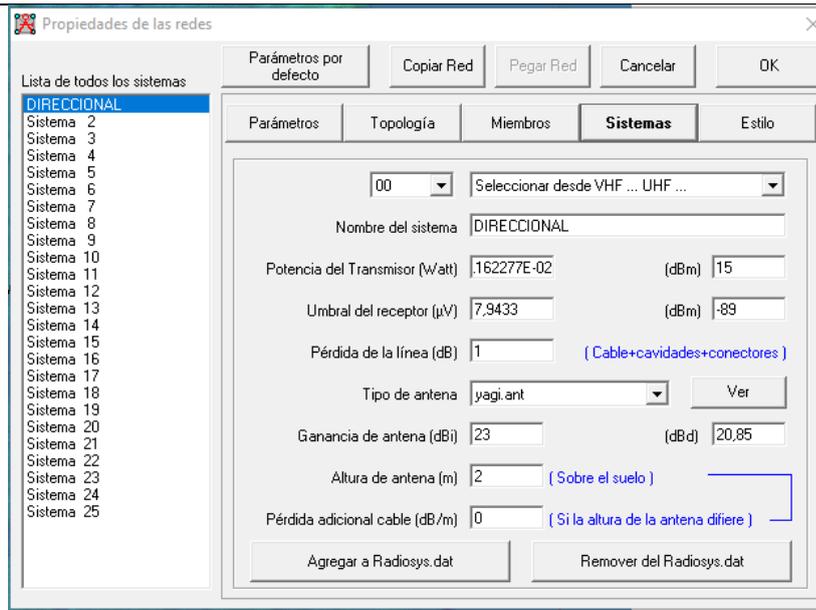
### Simulación del enlace.

### Establecimiento de parámetros.

Acorde a lo realizado en la Practica #3 se procede a realizar la ubicación del mapa en la Ciudad de Guayaquil con 10km de alto de mapa, se copian las ubicaciones desde Google Earth, se establece una red que comprenda los 2 puntos y un sistema que se encuentre acorde el modelo de las antenas que se van a emplear:

|                             | PARAMETRO          | VALOR       |
|-----------------------------|--------------------|-------------|
| <b>Enlace Punto a Punto</b> | Frecuencia         | 5210 MHz    |
|                             | Ancho de Banda     | 20 MHz      |
|                             | Potencia Tx        | 15 [dBm]    |
|                             | Sensibilidad       | -89 [dBm]   |
|                             | Perdidas de Línea  | 1 [dBm]     |
|                             | Ganancia de Antena | 23 [dBi]    |
|                             | Perdida por Cables | 0,000[dB/m] |
|                             | Altura de Antena   | 5 [m]       |
|                             | Tipo de Antena     | Yagi        |

**Tabla 1: Parámetros de antena.**  
Fuente: Autor.



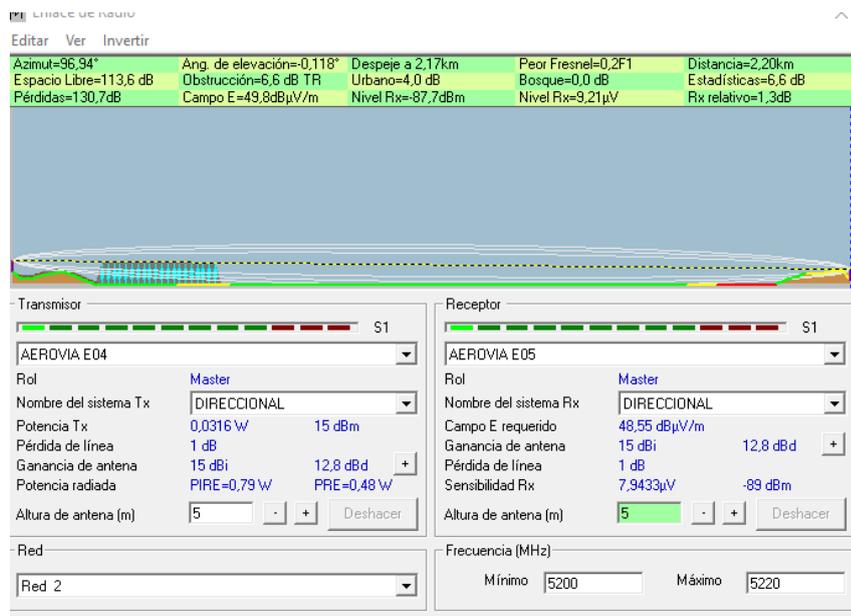
**Figura 4: Configuración de parámetros en Radio Mobile.**  
Fuente: Autor

### Simulación de enlace.

Se procede a presionar el icono que establece la comunicación basada a los parámetros ingresados y arroja resultados favorables para poder establecer el enlace físico, así mismo se arrojan valores de Azimut y Elevación que permitirá establecer el enlace físico con mayor precisión, garantizando así una comunicación estable.

También es posible observar que la comunicación tendría un RX relativo superior a la sensibilidad, eso quiere decir que efectivamente habrá comunicación.

Datos presentados para estación E04



**Figura 5: Simulación de enlace en Radio Mobile.**  
Fuente: Autor.

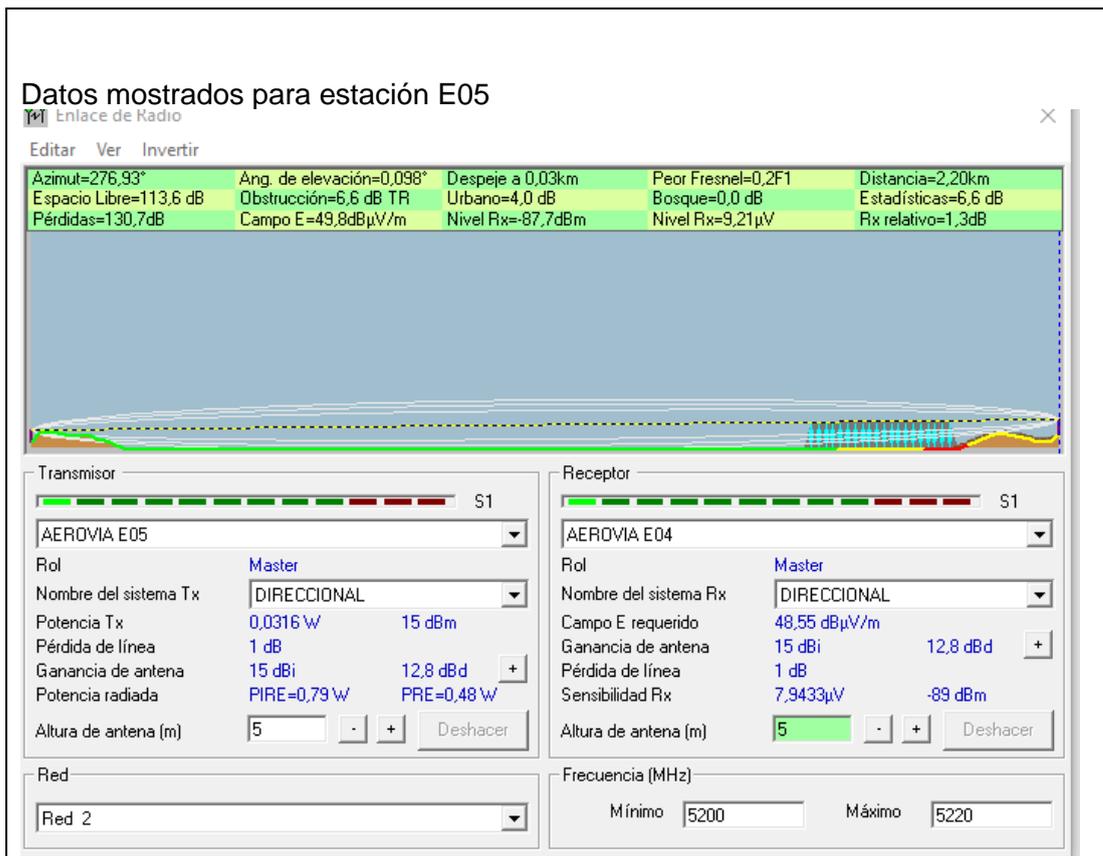


Figura 6: simulación de enlace desde Estación E05.

Fuente: Autor.

## Implementación de Enlace Punto a Punto.

### Configuración de las antenas.

Acorde a lo aprendido en la práctica anterior, se procede a configurar las antenas con los siguientes parámetros.

| Parámetros | TX            | RX            |
|------------|---------------|---------------|
| Red        | 192.168.1.0   | 192.168.1.0   |
| IP         | 192.168.1.222 | 192.168.1.221 |
| Mascara    | /24           | /24           |
| Gateway    | No requerido  | No requerido  |
| Operación  | AP repeater   | Station       |
| Frecuencia | 5210 MHz      | 5210 MHz      |
| Potencia   | 15 dBm        | 15 dBm        |
| SSID       | PMPUPS        | PMPUPS        |
| Password   | Practica5     | Practica5     |

Tabla 2: Tabla de parámetros de transmisor y receptor.

Fuente: Autor.

### Instalación de equipos.

Con los permisos concedido para hacer la implementación del enlace inalámbrico, se procede a realizar la instalación física de los equipos y direccionar las antenas de acuerdo a los datos de azimut y elevación facilitados por el software de

simulación, medidas que se aplican haciendo uso de aplicación de Brújula integrada en el smartphone.

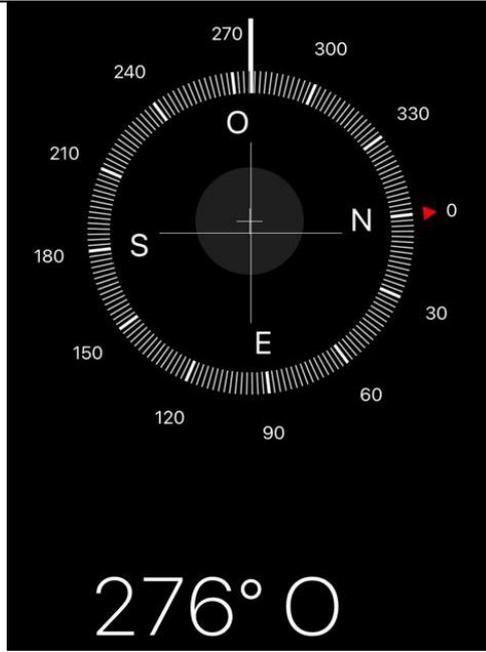
Estación Durán.



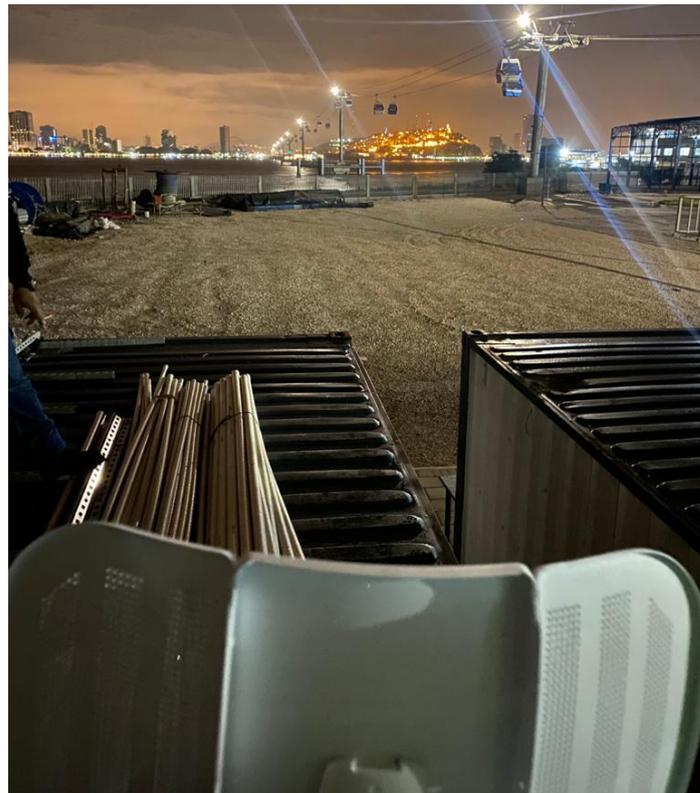
**Figura 7: Instalación de equipos en estación Durán.**  
**Fuente: Autor.**



**Figura 8: Configuración de equipos en estación Durán.**  
**Fuente: Autor.**



**Figura 9: Orientación de antena estación Durán.  
Fuente: Autor.**



**Figura 10: Estación Durán.  
Fuente: Autor.**

## Estación 4 Mosqueteros



Figura 11: Instalación de equipos en estación 4 mosqueteros.  
Fuente: Autor.

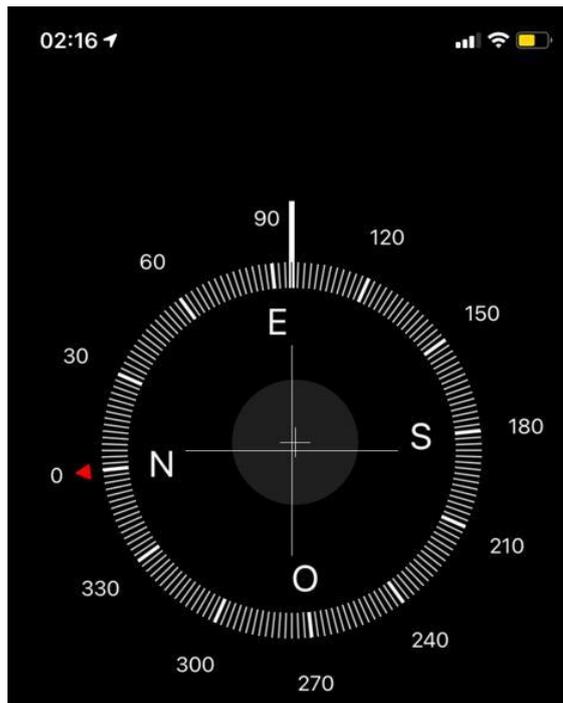


Figura 12: Orientación de antena 4 mosqueteros.  
Fuente: Autor.



**Figura 13: Estación 4 mosqueteros.**  
**Fuente: Autor.**

### **Resultados.**

El enlace efectivamente ha resultado exitoso, permitiendo establecer comunicación entre ambos extremos, comprobado por una prueba de ping desde una computadora conectada a la antena ubicada en Duran, hacia la IP de la antena ubicada en la estación 4 Mosqueteros (192.168.1.222).



**Figura 14: Pruebas de enlace.**  
**Fuente: Autor.**

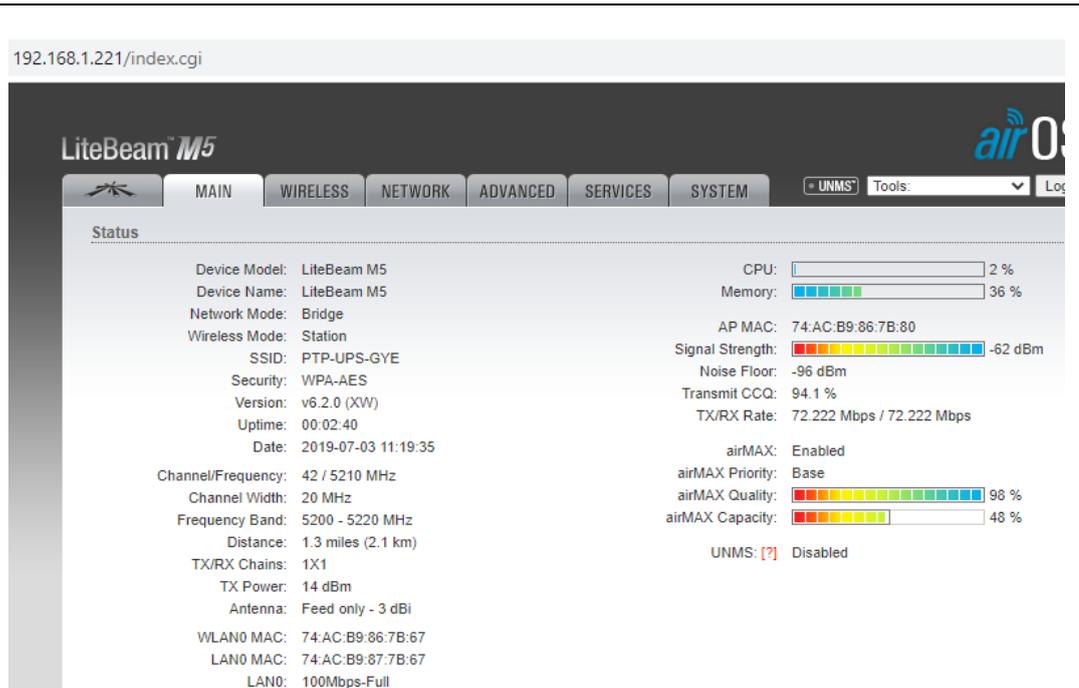


Figura 15: Enlace establecido.  
Fuente: Autor.

```

C:\Windows\system32\CMD.exe

C:\Users\AlanCasquete>ping 192.168.1.221

Haciendo ping a 192.168.1.221 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.221: bytes=32 tiempo<1m TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.1.221:
  Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
  (0% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
  Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms

C:\Users\AlanCasquete>ping 192.168.1.222

Haciendo ping a 192.168.1.222 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.222: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.222: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.222: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.222: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.1.222:
  Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
  (0% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
  Mínimo = 1ms, Máximo = 4ms, Media = 2ms

C:\Users\AlanCasquete>
  
```

Figura 16: Pruebas de ping entre las antenas.  
Fuente: Autor.

## Implementación de enlace dentro de campus Centenario.

### Cálculo teórico de enlace punto multipunto

Buscar el datasheet de las antenas a utilizar y completar la tabla.

|                     |  |
|---------------------|--|
| Potencia TX         |  |
| Ganancia antena     |  |
| Sensibilidad máxima |  |

Realizar los cálculos teóricos correspondientes a un enlace punto a punto con los valores obtenidos previamente para las distancias y una frecuencia de operación de 5300 MHz. haciendo cálculos por pérdidas de camino con distancia de 1km al menos. Es necesario realizar de manera separada por cada enlace.

### Identificación y reconocimiento de equipos.

Buscar el diagrama de radiación del equipo en internet y calcular los siguientes parámetros.

Pegar el diagrama de radiación de los equipos estaciones.

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| Angulo de cobertura    | $\theta$                                   |  |
| Directividad           | $D = \frac{4\pi}{\theta_1\theta_2}$        |  |
| Relación Delante-Atrás | $\frac{F}{B} = \frac{P_{front}}{P_{back}}$ |  |

Buscar en la guía del usuario o internet la IP y credenciales por defecto de los equipos.

|                        |  |
|------------------------|--|
| IP por defecto         |  |
| Usuario por defecto    |  |
| Contraseña por defecto |  |

### Configuración de la red.

Preparar una red LAN nueva, donde es necesario tomar un router y configurar en una red clase C, ceder al equipo una Ip dentro del segmento. Configurar el router como un DHCP server para brindar direcciones Ip a equipo que se vayan a conectar a la red requiriendo una dirección.

RED 192.168.8.0 /24

Ubicar el botón de reset de la antena y mantenerlo presionado por aproximadamente 10 segundos, para configurar los valores por defecto del equipo en caso que estos hayan sido modificados.

Conectar el puerto LAN del power injector a la computadora  
 Modificar los parámetros de red de la computadora a punto que se encuentre en el segmento de red de la antena para su configuración y conectarse mediante el navegador web al equipo transmisor con su Ip y credenciales por defecto.

Aplicar cambios al equipo transmisor:

|            |               |
|------------|---------------|
| Red        | 192.168.1.0   |
| IP         | A gusto       |
| Mascara    | /24           |
| Gateway    | Ip del router |
| Operación  | AP repeater   |
| Frecuencia | 5210 MHz      |
| SSID       | PMPUPS        |
| Password   | Practica5     |

Repetir de los pasos 4.4.2 al 4.4.4, cambiar la operación de los equipos a Station, ubicarlo a la misma frecuencia del equipo central y conectarse a la SSID que emite esta antena central.

NOTA: es necesario que el equipo central siga encendido y a la hora de conectar el equipo a la SSID es estrictamente necesario que el CPE esté apuntando al equipo central.

Desconectar los equipos, ubicarlos en los trípodes y ubicarlos en las terrazas de los edificios B D y E, el central debe estar ubicado en un edificio que sea capaz de cubrir a los otros 2 para que se conecten los CPE.

En el puerto LAN del central debe estar el router configurado previamente  
 Conectar computadoras en los puertos LAN de los power injector de los CPE, en la conexión de red de la computadora debe estar como DHCP

Abrir la ventana de comando de Windows y escribir el comando ipconfig, y realizar ping a todos los equipos de red de esta red LAN:

- Central
- Cpe1
- Cpe2
- Laptop en cpe2
- Router

Pegar imágenes de la instalación física de los equipos, el resultado del comando ipconfig y todos los pings realizados.

**Herramientas necesarias:**

- Laptop con software Radio Mobile y acceso a internet.
- 6 Patch cords utp cat 6.
- 2 antenas Ubiquiti Airmax 5 GHz.
- 2 PoE 24v 0.5ª.
- Tomacorrientes habilitados con energía.
- Brújula.

**Referencia de la guía:**

[https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-5-199708-S!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-5-199708-S!!PDF-S.pdf)

**RESULTADO(S) OBTENIDO(S):**

El estudiante debe colocar los resultados obtenidos en la práctica con imágenes y descripciones de cada imagen.

**CONCLUSIONES:**

El estudiante debe colocar las conclusiones de las prácticas de acuerdo con los objetivos planteados.

**RÚBRICA DE REVISIÓN DE PRÁCTICA:**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Fecha de realización de la práctica:</b> |            |
| <b>Integrantes del Grupo:</b>               | 1.-<br>2.- |

|   | Excelente | Muy Bueno | Bueno | Regular | Malo | Muy Malo | Observaciones |
|---|-----------|-----------|-------|---------|------|----------|---------------|
| <b>Calidad, orden, evidencia fotográfica y correcta estructuración del desarrollo de la práctica [ 30% del puntaje]</b> |           |           |       |         |      |          |               |
| <b>Sustentación correcta de las prácticas [ 30% del puntaje]</b>  |           |           |       |         |      |          |               |
| <b>Conclusiones de las prácticas [ 40% del puntaje]</b>   |           |           |       |         |      |          |               |

**PUNTAJE:**

/10

**CARRERA:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**ASIGNATURA:**

**NRO. PRÁCTICA:**

7

**TÍTULO PRÁCTICA:** IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE PUNTO MULTIPUNTO CON ANTENAS A 5GHZ.

**Objetivo general:**

Establecer un radioenlace real mediante el empleo de antenas de la marca Ubiquiti, situando los equipos en puntos específicos dentro de la zona correspondiente a la Universidad Politécnica Salesiana.

**Objetivos específicos:**

- Reconocer el tipo de antenas que se van a emplear.
- Verificar parámetros básicos de propagación.
- Establecer los puntos de ubicación de las antenas.
- Configurar e instalar las antenas.

**Instrucciones:**

**1.** Formar grupos de laboratorio para realizar la práctica.

**2.** Previo al desarrollo de la práctica el estudiante debe leer el documento de la misma e información relacionada.

**3.** El uso de materiales y equipos de laboratorio se deben manejar de acuerdo a las normas del laboratorio y a las indicaciones impartidas por el docente.

**4.** El laboratorio al finalizar la práctica debe quedar en orden y los equipos guardados en el lugar asignado por el docente.

**Actividades por desarrollar:**

Durante el desarrollo de la práctica se da indicaciones para la conexión, configuración e interacción con los equipos de radioenlaces, desde los conocimientos e indicaciones técnicas modo de configuración y pruebas de verificación del establecimiento de radioenlaces.

**Procedimiento:**

**Cálculo teórico de enlace punto multipunto**

Buscar el datasheet del equipo Rocket antenas y la antena sectorial, luego completar la tabla

|                     |  |
|---------------------|--|
| Potencia TX         |  |
| Ganancia antena     |  |
| Sensibilidad máxima |  |

**Tabla 1: Tabla de datos de transmisor.**  
Fuente: Autor.

Buscar el datasheet de las antenas estaciones a utilizar y completar la tabla

|                     |  |
|---------------------|--|
| Potencia TX         |  |
| Ganancia antena     |  |
| Sensibilidad máxima |  |

**Tabla 2: Tabla de datos de estaciones receptoras.**  
Fuente: Autor.

Realizar los cálculos teóricos correspondientes a un enlace punto a punto con los valores obtenidos previamente para las distancias y una frecuencia de operación de 5300 MHz. haciendo cálculos por pérdidas de camino con distancia de 1km al menos. Es necesario realizar de manera separada por cada enlace.

### Identificación y reconocimiento de equipos.

Buscar el diagrama de radiación del equipo en internet y calcular los siguientes parámetros.

Pegar el diagrama de radiación de la antena sectorial.

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| Angulo de cobertura    | $\theta$                                   |  |
| Directividad           | $D = \frac{4\pi}{\theta_1 \theta_2}$       |  |
| Relación Delante-Atrás | $\frac{F}{B} = \frac{P_{front}}{P_{back}}$ |  |

**Tabla 3: Tabla de parámetros de transmisor.**  
Fuente: Autor.

Pegar el diagrama de radiación de los equipos estaciones.

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| Angulo de cobertura    | $\theta$                                   |  |
| Directividad           | $D = \frac{4\pi}{\theta_1\theta_2}$        |  |
| Relación Delante-Atrás | $\frac{F}{B} = \frac{P_{front}}{P_{back}}$ |  |

**Tabla 4: Tabla de parámetros de receptor.**  
Fuente: Autor.

Buscar en la guía del usuario o internet la IP y credenciales por defecto de los equipos.

|                        |  |
|------------------------|--|
| IP por defecto         |  |
| Usuario por defecto    |  |
| Contraseña por defecto |  |

**Tabla 5: Tabla de valores por defecto de configuración de antena.**  
Fuente: Autor.

**Conexiones físicas.**

Es común ver que los equipos para comunicaciones inalámbricas vienen el equipo transmisor integrado junto a la antena, pero para enlaces inalámbricos con grandes requisitos de conexión y sistemas punto – multipunto, suelen requerir configuraciones modulares, donde se acopla la antena al equipo transmisor y se realizan conexiones específicas para su correcto funcionamiento.

Previo a la configuración es necesario conectar la antena al equipo transmisor, estas conexiones son con cable coaxial y conectores SMB, los cuales vienen parte del pack de la antena.

Identificar el acople fijo del equipo transmisor a la antena, no es necesario fijar aún. Acorde a ese acople s deben conectar los cables coaxiales para que la antena correctamente polarizada, los cables coaxiales deben ir rectos, conectar izquierda transmisor - izquierda antena, así mismo la derecha.

A la hora de fijar el equipo transmisor, evitar que los cables coaxiales sufran dobleces extremos que puedan romper el cobre al interior de él, por tanto, el dobléz debe lo más delicado y con mayor abertura posible.

Luego que el equipo este acoplado es posible, realizar las conexiones comunes de estos equipos haciendo uso del power injector, donde POE va hacia la antena en el MAIN y LAN hacia la computadora o switch para su configuración

**Configuración de la red.**

Preparar una red LAN nueva, donde es necesario tomar un router y configurarlo en una red clase C, ceder al equipo una Ip a gusto. Configurar el router con la capacidad de ser DHCP server para brindar direcciones Ip a equipo que se vayan

a conectar a la red requiriendo una dirección de red: 192.168.8.0 /24

Ubicar el botón de reset de la antena y mantenerlo presionado por aproximadamente 10 segundos, para configurar los valores por defecto del equipo en caso que estos hayan sido modificados.

Conectar el puerto LAN del power injector a la computadora

Modificar los parámetros de red de la computadora a punto que se encuentre en el segmento de red de la antena para su configuración y conectarse mediante el navegador web al equipo transmisor con su Ip y credenciales por defecto.

Aplicar cambios al equipo transmisor:

|            |                             |
|------------|-----------------------------|
| Red        | 192.168.1.0                 |
| IP         | Dentro del segmento de red. |
| Mascara    | /24                         |
| Gateway    | Ip del router               |
| Operación  | AP repeater                 |
| Frecuencia | 5210 MHz                    |
| SSID       | PMPUPS                      |
| Password   | Practica5                   |

**Tabla 6: Tabla de parámetros de equipo transmisor.  
Fuente: Autor.**

Repetir de los pasos 4.4.2 al 4.4.4, cambiar la operación de los equipos a Station, ubicarlo a la misma frecuencia del equipo central y conectarse a la SSID que emite esta antena central.

NOTA: Es necesario que el equipo central siga encendido y a la hora de conectar el equipo a la SSID es estrictamente necesario que el CPE esté apuntando al equipo central.

Desconectar los equipos, ubicarlos en los trípodes y ubicarlos en las terrazas de los edificios B D y E, el central debe estar ubicado en un edificio que sea capaz de cubrir a los otros 2 para que se conecten los CPE.

En el puerto LAN del central debe estar el router configurado previamente.

Conectar computadoras en los puertos LAN de los power injector de los CPE, en la conexión de red de la computadora debe estar como DHCP.

Abrir la ventana de comando de Windows y escribir el comando ipconfig, y realizar ping a todos los equipos de red de esta red LAN:

Central

Cpe1

Cpe2

Laptop en cpe2

Router

**Herramientas necesarias:**

- 6 Patch cords utp cat 6.
- 1 equipo Transmisor Ubiquiti Rocket.
- 1 antena sectorial.
- 2 antenas Ubiquiti Airmax 5 GHz.
- 3 PoE 24v 0.5A.
- Tomacorrientes habilitados con energía.

**Referencia de la guía:**

[https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-5-199708-S!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-5-199708-S!!PDF-S.pdf)

**RESULTADO(S) OBTENIDO(S):**

El estudiante debe colocar los resultados obtenidos en la práctica con imágenes y descripciones de cada imagen.

**CONCLUSIONES:**

El estudiante debe colocar las conclusiones de las prácticas de acuerdo con los objetivos planteados.

**RÚBRICA DE REVISIÓN DE PRÁCTICA:**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Fecha de realización de la práctica:</b> |            |
| <b>Integrantes del Grupo:</b>               | 1.-<br>2.- |

|   | Excelente | Muy Bueno | Bueno | Regular | Malo | Muy Malo | Observaciones |
|---|-----------|-----------|-------|---------|------|----------|---------------|
| <b>Calidad, orden, evidencia fotográfica y correcta estructuración del desarrollo de la práctica [ 30% del puntaje]</b> |           |           |       |         |      |          |               |

|  |  |  |  |  |  |  |            |
|--|--|--|--|--|--|--|------------|
| <b>Sustentación<br/>correcta de las<br/>prácticas<br/>[ 30% del puntaje]</b> |  |  |  |  |  |  |            |
| <b>Conclusiones de<br/>las prácticas<br/>[ 40% del puntaje]</b>              |  |  |  |  |  |  |            |
| <b>PUNTAJE:</b>  |  |  |  |  |  |  | <b>/10</b> |