



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

**“Diseño e implementación de un prototipo Georadar (GPR), para análisis de subsuelo
en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO”**

AUTORES:

Ronald Germán Domínguez Salazar

Wilson Roberto Vozmediano Naranjo

TUTOR:

Ing. Juan Carlos González Guzmán

GUAYAQUIL, ECUADOR 2019

CERTIFICADO DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN Y RESPONSABILIDAD

RONALD GERMAN DOMÍNGUEZ SALAZAR y **WILSON ROBERTO VOZMEDIANO NARANJO** autorizamos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la publicación total del trabajo de titulación y su reproducción sin beneficio de ganancia.

Además, declaramos que el trabajo de titulación basado en los requisitos de la Universidad Politécnica Salesiana previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico es de propiedad única, con tema de Diseño e implementación de un prototipo Georadar (GPR), para análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO.

Ronald German Domínguez Salazar
Cédula: 0930992722

Wilson Roberto Vozmediano Naranjo
Cédula: 0930857784

CERTIFICADO DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

RONALD GERMAN DOMÍNGUEZ SALAZAR y, con documento de identificación N° **0930992722** y **WILSON ROBERTO VOZMEDIANO NARANJO**, con documento de identificación N° **0930857784**, cedemos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del trabajo de titulación **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO GEORADAR (GPR), PARA ANÁLISIS DE SUBSUELO EN BÚSQUEDA DE PERSONAS VIVAS CON SDR URSP RIO** mismo que fue desarrollado para obtener el título de **INGENIERO ELECTRÓNICO**, quedando la Universidad autorizada para ejercer los derechos antes accedidos, como lo señala la Ley de Propiedad Intelectual.

Como autores de nuestro trabajo de titulación me reservo los derechos morales, redactado este documento, hacemos la entrega de nuestro trabajo en formato digital e impreso a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Ronald German Domínguez Salazar
Cédula: 0930992722

Wilson Roberto Vozmediano Naranjo
Cédula: 0930857784

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, JUAN CARLOS GONZÁLEZ GUZMÁN, tutor del trabajo de Titulación con tema **“Diseño e implementación de un prototipo Georadar (GPR), para análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO”** desarrollado por los estudiantes, **RONALD GERMAN DOMÍNGUEZ SALAZAR y WILSON ROBERTO VOZMEDIANO NARANJO**, certifico haber revisado y orientado el trabajo de titulación durante su elaboración y desarrollo, por lo tanto, se aprueba la presentación ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, 20 de diciembre de 2018

Ing. Juan Carlos González Guzmán

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios por brindarme la sabiduría necesaria para lograr esta meta en mi vida, por supuesto a mis padres Wilson Y Teresa por su apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi carrera universitaria, a mis hermanas mayores Sayra y Mary que me demostraron que los estudios y la responsabilidad son valores esenciales para cumplir nuestros objetivos. A mi querida novia Andrea por brindarme su confianza y ser una gran motivación para cumplir muchas de mis metas, llevándome siempre por el camino correcto y demostrando con valores que en esta vida nada es imposible. Todos ustedes son lo más valioso que Dios me ha dado en la vida y este logro profesional nos pertenece a todos como familia.

Wilson Roberto Vozmediano Naranjo

En primer lugar, dedico este trabajo de titulación a mis padres Mauricio Domínguez y Cecibel Salazar por ser los pilares fundamentales no solo en conocimientos y cuidados, sino también en valores demostrando como ser un ciudadano de bien, agradezco el apoyo que me brindaron desde mis primeros pasos. A mis hermanos Diego e Isaac por siempre estar junto conmigo, a los docentes que compartieron sus conocimientos para poder cumplir mis metas, a mi novia Mayline por su confianza y apoyo a seguir con mis sueños. A todos mis amigos y profesores que impulsaron mis ideas y me apoyaron en todo el camino. Y a mí mismo por tener la paciencia para nunca desistir de mis sueños dando siempre el mayor esfuerzo en todo.

Ronald German Domínguez Salazar

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios todopoderoso por ser el maestro que ha obrado en nosotros para el desarrollo de este proyecto de titulación, a nuestros queridos padres que en todo momento de nuestras vidas nos han brindado su apoyo en cada uno de los aspectos de la misma, creyendo siempre en nosotros y en nuestro potencial; agradecemos a todos nuestros profesores y directores de la Universidad Politécnica Salesiana, los cuales sin restricciones compartieron cada uno de sus conocimientos con nosotros en las diversas materias impartidas, así mismo por la asesoría y sus buenos consejos en pro de la mejora de nuestro proyecto de titulación.

Estamos muy agradecidos con todos y cada uno de ellos, también con todos los familiares y amigos que de una u otra manera aportaron con un granito de arena para la motivación en el desarrollo de este logro profesional.

RESUMEN

Año	Título	Alumnos	Tutor	Tema de titulación
2018	Ingeniero Electrónico	Ronald Germán Domínguez Salazar Wilson Roberto Vozmediano Naranjo	Ing. Juan González Guzmán, MSc.	Diseño e implementación de un prototipo Georadar (GPR), para análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO

El presente proyecto surge a partir del sismo ocurrido el pasado 16 de abril del 2016, ocasionando pérdidas materiales y humanas; éstas últimas no pudieron ser rescatadas a tiempo debido a la magnitud del desastre y a la gran cantidad de escombros. Por ello se planteó esta problemática que encamina la materialización y desarrollo de éste proyecto técnico, para poder brindar ayuda oportuna en casos de terremotos o deslaves en los cuales queden personas atrapadas entre los escombros y no puedan ser detectadas fácilmente.

La propuesta plantea un prototipo que pueda detectar personas debajo de objetos (escombros, suelo), partiendo de la premisa que el cuerpo humano puede interferir en la propagación de las frecuencias emitidas, se llevó a cabo el diseño de un prototipo con experimentación de modelos de emisión y recepción que presenten resultados óptimos en cuanto a la detección de personas al interferir con las frecuencias que emite el prototipo Georadar, y para ello se utiliza el equipo USRP RIO, dos antenas tipo plato, el software LabVIEW donde se desarrolla la programación y un pool de Toolkit como el avance Signal Processing, Sound and Vibration, TFA y TFS.

Al realizar la programación se evidencian varios contratiempos como el nivel de entendimiento de los Toolkits, así como la selección de frecuencias y modulaciones óptimas para el proyecto, la selección de antenas y modelos de mediciones, todos estos fueron

sometidos a prueba y error dejando como resultado final un proyecto que satisface las expectativas y objetivos planteados.

Palabras Claves: Georadar, SDR URSP RIO, Prototipo, Diseño, Subsuelo, TFA, TSA

ABSTRACT

Year	Profession	Students	Director of Technical Project	Technical Project
2018	Electronic Engineer	Ronald Germán Domínguez Salazar Wilson Roberto Vozmediano Naranjo	Ing. Juan González Guzmán, MSc.	Design and implementation of a Georadar prototype (GPR), for subsoil analysis in search of living people with SDR URSP RIO

The present project began on April 16, 2016, causing material and human losses; The latest news has not been rescued in time due to the magnitude of the disaster and the large amount of debris. Therefore, it is a problem that involves the materialization and development of the same technical project, in order to provide timely assistance in cases of earthquakes or mudslides in which people are trapped among the rubble and are not easily detectable.

The proposal of a prototype that can detect people under the objects (parts, ground), part of the premise that the human body can interfere in the propagation of the emitted frequencies, it is a design of a prototype with the experimentation of emission and reception models that present optimal results in terms of the detection of people with interference with the Georadar prototype, and for its use the USRP RIO equipment is used, two dish antennas, the LabVIEW software where the programming is developed and a Toolkit Pool as the processed advance signal, sound and vibration, TFA and TFS.

When doing the programming, several hiring evidences are shown such as the level of understanding of the toolkits, as well as the selection of optimal frequencies and modulations

for the project, the selection of antennas and measurement models, all these were just a test and a error that have been as a result A final project that meets the expectations and objectives.

Keywords: Georadar, SDR URSP RIO, Prototype, Design, Subsoil, TFA, TSA

ÍNDICE GENERAL

Portada	i
CERTIFICADO DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN Y RESPONSABILIDAD.....	ii
CERTIFICADO DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS	iii
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN POR PARTE DEL TUTOR	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
EL PROBLEMA.....	4
1.1. Descripción del problema.....	4
1.2. Importancia y alcances	6
1.3. Delimitación del proyecto	6
1.4. Formulación del problema	7
1.4. Objetivos de la investigación	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	8
2.1. Marco contextual.....	8
2.2. Marco teórico	9
2.2.1. Espectro radioeléctrico.....	9
2.2.2. <i>Banda VHF</i>	14
2.2.3. Antenas	15
2.2.4. Antenas de recepción y transmisión	19
2.2.5. Antenas Monoestáticas	20
2.2.6. Antenas Biestáticas	21
2.2.7. Propagación en medios sin pérdidas y con pérdidas.....	21
2.2.8. Reflectividad en ondas electromagnéticas	24
2.2.9. Fuentes de onda.....	25
2.2.10. Selección de la frecuencia de muestreo	26
2.2.11. Factores de interferencias	26
2.2.12. Frente de onda.....	27

2.3.	Efecto Doppler	28
2.3.1.	Efecto Doppler Patch	29
2.4.	Transformadas: de Fourier, corta de Fourier	32
2.5.	Polarización en antenas	34
2.6.	Radargrama y espectrograma	37
2.6.1.	Radargrama	37
2.6.2.	Espectrograma.....	39
2.7.	Técnica de prospección georradar	41
2.8.	Características de los georradares	42
2.8.1.	Características para tomar en cuenta:	43
2.8.2.	Se plantean las siguientes mejoras.....	43
2.9.	Arreglo de antenas.....	44
2.9.1.	Arreglo de Antenas Planas (Array Agrupaciones Planas)	44
2.9.2.	Arreglo De Antenas Cilíndricas (Array Agrupaciones Cilíndricas)	45
2.10.	Filtros.....	49
2.10.1.	Teoría de filtros.....	49
2.10.2.	Tipos de filtros	50
2.10.3.	Filtros FIR.....	51
2.10.4.	Filtro paso alto FIR de primer orden.....	51
2.11.	Modulación y Desmodulación AM (Amplitud Modulada)	52
2.12.1.	Métodos de generación de banda lateral única	54
MARCO METODOLÓGICO.....		56
3.1.	Tipo de investigación	56
3.2.	Diseño de investigación	57
3.3.	Enfoque de la investigación	57
3.4.	Método de investigación	57
3.5.	Instrumentos de investigación	58
PROPUESTA.....		60
4.1.	Título de la propuesta.....	60
4.2.	Justificación.....	60
4.3.	Descripción de la propuesta	61
4.3.1.	Materiales.....	61
4.3.2.	Procedimiento de ensamblado	64
4.3.3.	Modulaciones.....	76
4.3.4.	Filtros	77
4.3.5.	Trasnformadas.....	77
4.3.6.	Frecuencias de modulaciones	77

4.4. Aspectos técnicos de la metodología	77
4.4.1. USRP (Universal Software Radio Peripheral).....	77
4.4.2. Toolkits (Herramientas de procesamiento de señal avanzado).....	79
4.4.3. RF Toolkit (Kit de herramientas de radiofrecuencia).....	81
RESULTADOS.....	83
5.1. Prueba # 1	83
5.1.1. Prueba con señal AM.....	83
5.1.2. Resultados de la prueba # 1: Envío y recepción de señal AM.....	84
5.2. Prueba # 2	85
5.2.1. Prueba con señal Multitono	85
5.2.2. Resultados de la prueba # 2: Envío y recepción de señal multitono.....	86
Conclusiones	87
Recomendaciones	88
Bibliografía	89

Índice de imágenes

Figura 1. Radargrama.....	2
Figura 2. Cinturón del Fuego del Pacífico	4
Figura 3. Espectro radioeléctrico	10
Figura 4. Ondas de radio	10
Figura 5. Ondas infrarrojas	11
Figura 6. Luz visible	11
Figura 7. Luz ultravioleta.....	12
Figura 8. Rayos X	12
Figura 9. Rayos gamma	13
Figura 10. Antenas de hilo	16
Figura 11. Antena parabólica.....	16
Figura 12. Antena plana.....	17
Figura 13. Antena tipo reflector.....	18
Figura 14. Antenas de tipo bocina	18
Figura 15. Antena de tipo dipolo	19
Figura 16. Propagación de onda.....	23
Figura 17. Fuente de onda plana.....	27
Figura 18. Efecto Doppler.....	28
Figura 19. Observador y fuente de sonido, separados una distancia l dentro de un tubo, donde se puede mover el aire en el eje $-X$	30
Figura 20. Transformada de Fourier	33
Figura 21. Efectos de polarización.....	36
Figura 22. Radargrama.....	38
Figura 23. Espectrograma	39

Figura 24. Espectrograma (representación)	40
Figura 25. Representación de espectrograma	41
Figura 26. Agrupación de bocinas cónicas en una retícula plana triangular	44
Figura 27. Antena adaptativa para un sistema radar a bordo de un avión	44
Figura 28. Array cilíndrico de bocinas rectangulares	45
Figura 29. Parametros de conductividad electrica	46
Figura 30. El Método de Georada -- Néstor Bonomo y Matías de la Vega.....	46
Figura 31. Aplicación del radar de penetración en tierra (Georadar) a la exploración no destructiva de yacimientos Arqueológicos	47
Figura 32. Representación gráfica de los tipos de filtros.....	50
Figura 33. Señal Moduladora.....	52
Figura 34. Señal Portadora.....	53
Figura 35. Señal Modulada.	53
Figura 36. Señal AM en el dominio de la frecuencia.	53
Figura 37. Esquema del sistema básico para pruebas al aire libre.	61
Figura 38. Materiales para el prototipo.....	62
Figura 39. Antenas tipo Path Flat de 5.15-5.875 GHz.....	63
Figura 40. USRP RIO 2943.	63
Figura 41. Computador (Core I3, RAM 4 Gb) con Software Labview 2015 (32bits).....	64
Figura 42. Revisión de materiales antes del ensamblado	64
Figura 43. Montaje de los paneles sobre una base móvil	65
Figura 44. Montaje de la base móvil sobre el trípode y conexión de antenas.	65
Figura 45. Conexión al dispositivo USRP RIO 2943	66
Figura 46. Conexión del dispositivo USRP RIO 2943 al computador	66
Figura 47. Ingreso al sistema Labview 2015 (32bits).....	67

Figura 48. Pantalla de Inicio, Visualización estándar de conexión y los parámetros de configuración inicial.	67
Figura 49. VI Principal configuración general.	68
Figura 50. VI Principal configuración general.	68
Figura 51. VI Principal configuración general.	69
Figura 52. VI Principal de envío y recepción de señal.	69
Figura 53. Pantalla principal de la Configuración de la antena.	70
Figura 54. VI Principal configuración general.	70
Figura 55. Configuración de envío de señal a transmitir.	71
Figura 56. Panel principal de visualización de señal a usar.	71
Figura 57. subVI Principal ingreso de señal para enviar.	72
Figura 58. Visualización y configuración de señal multitono.	72
Figura 59. VI Envío configuración interna de señal multitono.	73
Figura 60. Visualización de señal modulada en AM SSB.	73
Figura 61. VI envío configuración interna de señal modulada en AM SSB.	74
Figura 62. VI Recepción de señal de respuesta.	74
Figura 63. VI Recepción escalado y normalización de señal.	75
Figura 64. Recepción visualización de señal por medio de espectrograma.	75
Figura 65. Recepción visualización de bode variante en el tiempo.	76
Figura 66. Configuración de recepción de señal.	76
Figura 67. USRP rio 2943.	78
Figura 68. Advanced Signal Processing Toolkit.	80
Figura 69. Visualización de Envío y Recepción de Señal AM.	83
Figura 70. Sin detección de señal.	83
Figura 71. Detección de señal.	84

Figura 72. Visualización de Envío y Recepción de Señal Multitono.	85
Figura 73. Sin detección de señal Multitono.	85
Figura 74. Detección de señal Multitono.	86

Índice de tablas

Tabla 1. Distribución convencional del Espectro radioeléctrico	14
--	----

INTRODUCCIÓN

Cada año, se suscitan aproximadamente 100,000 eventos sísmicos en todo el mundo; estos van desde eventos pequeños casi imperceptibles, a grandes terremotos que ocasionan daños significativos. La cantidad de pérdidas humanas y económicas que resultan de un terremoto depende del tamaño, profundidad y ubicación del mismo, la intensidad de la sacudida del suelo y efectos relacionados a la infraestructura del edificio y la vulnerabilidad de la zona (Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción, 2016).

En este contexto, los eventos sísmicos suscitados en los últimos años en diferentes países del mundo, han significado la pérdida de miles de vidas, daños en infraestructuras y cuantiosas pérdidas para los gobiernos y la población; esto ha provocado la necesidad de implementar medidas que les permita reducir en lo posible el número de pérdidas humanas, tales como la adopción de normativas para la construcción de viviendas y edificios sismo-resistentes, además de la utilización de técnicas y herramientas que faciliten las labores de rescate en caso de terremotos.

En Ecuador, de acuerdo a datos oficiales, se registró un total de 670 víctimas mortales a raíz del terremoto de 7.8 en la escala de Richter, suscitado el 16 de abril del año 2016 en la provincia de Manabí; este se consideró como uno de los eventos más catastróficos ocurridos a partir del último terremoto que afectó a la provincia de Tungurahua en 1948. Así mismo, se convirtió en el más mortal ocurrido en la región en los últimos años debido a la carencia de equipos tecnológicos especializados para agilizar la búsqueda de sobrevivientes (Ecuador Inmediato, 2017).

Al respecto, la (Cruz Roja Americana , 2014), establece que: “La probabilidad de sobrevivir a un terremoto u otro desastre natural es alta. Lo que es importante es prepararse para sobrevivir al período subsiguiente, especialmente las primeras 72 horas cuando los recursos más comunes pueden no estar disponibles”. (pág. 13)

Partiendo de estos antecedentes y de acuerdo con los protocolos internacionales, las primeras 72 horas posteriores a un terremoto, constituyen momentos cruciales para encontrar sobrevivientes, por lo que resulta fundamental contar con los recursos tecnológicos necesarios que faciliten la búsqueda. En este caso, el presente proyecto se basa en el diseño de un prototipo de Georadar (GPR), para análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO; el cual, a través de ondas electromagnéticas, podría llegar a detectar personas con vida atrapadas en escombros, entre 2 a 3 metros de profundidad, debido a que muestra una imagen denominada “radargrama”, que facilita la detección de los cuerpos.

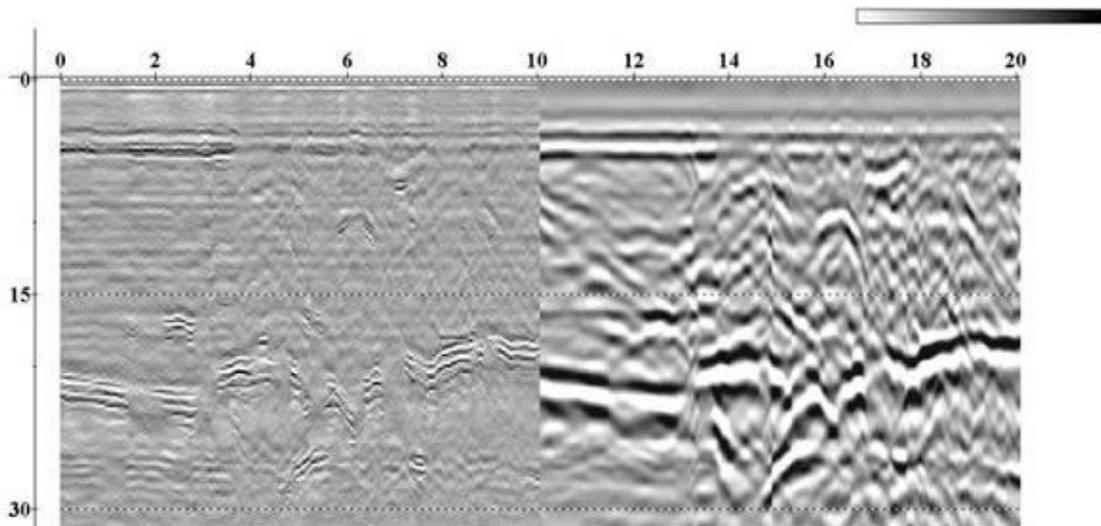


Figura 1. Radargrama
Fuente: Geofísica Argentina (2015)

Por lo tanto, el presente proyecto se elabora con base a un plan de acciones que involucran la elaboración de análisis sobre la situación relacionada al problema, la recopilación de

información relevante y el diseño del prototipo de Georadar (GPR), con lo que se pretende contribuir a la solución de problemas relacionados con las labores de rescate de personas posterior a una catástrofe natural. En este caso, el trabajo está estructurado de la siguiente forma:

- En primer lugar, se define la problemática de estudio, así como también se describen los antecedentes que dieron lugar a la situación analizada, se establecen los objetivos del proyecto, así como el alcance y la delimitación temporal, sectorial e institucional correspondiente.
- Posteriormente, se presenta el marco teórico del proyecto, donde se realiza el análisis de las diferentes teorías relacionadas con el tema de estudio, para lo cual se realizó la revisión de diferentes fuentes secundarias, tales como libros, informes, publicaciones oficiales y artículos científicos.
- Una vez realizado el marco teórico, se presenta la metodología de investigación, donde se definen los métodos y el tipo de estudio, así como también se incluirán los resultados de su aplicación.
- Finalmente, se establece diseño de la propuesta, que en este caso se basa en el desarrollo de un prototipo Georadar (GPR), para análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO. Adicionalmente se presentan las respectivas conclusiones y recomendaciones del caso, así como también la bibliografía y los anexos correspondientes.

EL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El peligro sísmico de un área se determina por la sismicidad del territorio, la cual indica la frecuencia y la fuerza de los terremotos y representa una característica física de una zona específica; consecuentemente cuanto mayor es el peligro sísmico, mayor es la probabilidad de que ocurra un terremoto de gran magnitud en el mismo intervalo de tiempo. En este caso, el Ecuador se encuentra ubicado en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, la cual es una extensión en forma de herradura con epicentros de terremotos, volcanes y límites de placas tectónicas que bordean la cuenca del Pacífico (Ortega, 2015).

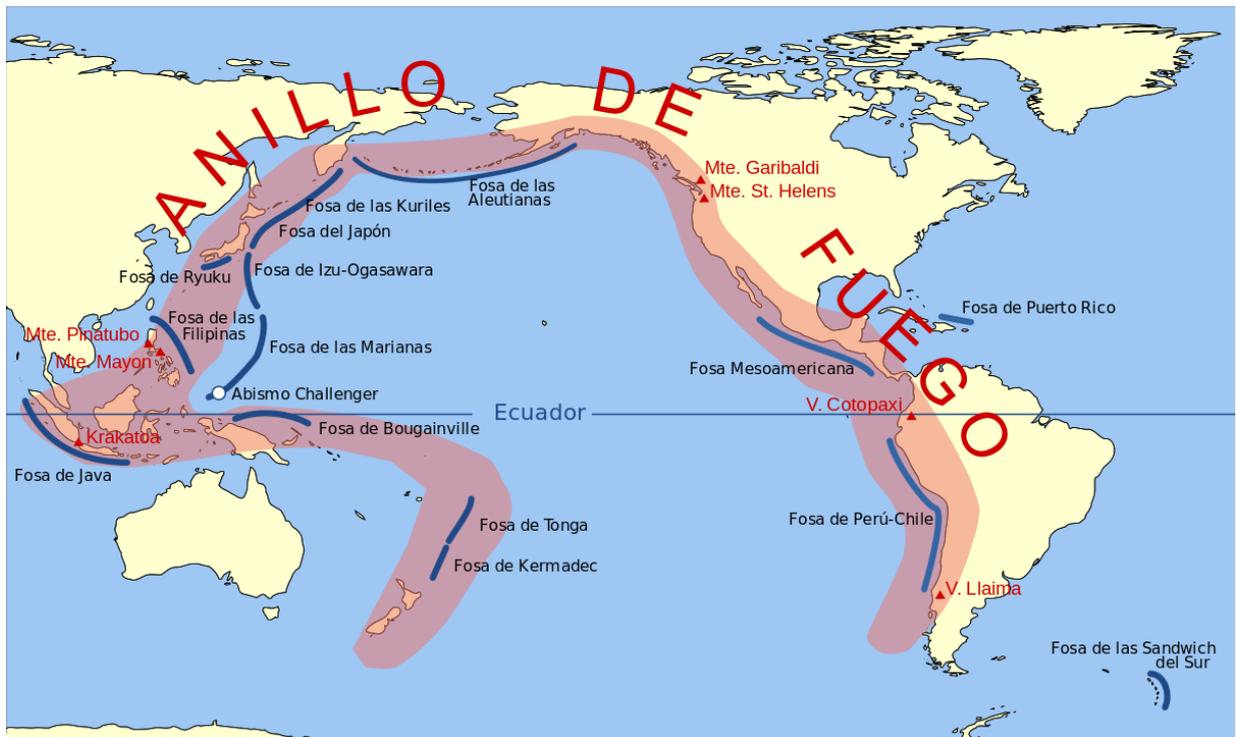


Figura 2. Cinturón del Fuego del Pacífico
Fuente: Ortega (2015)

Debido a estos antecedentes, el 16 de abril del año 2016 a las 18:58 se suscitó en la provincia de Manabí un evento sísmico de gran magnitud que alcanzó los 7.8 grados en

la escala de Richter, y provocó pérdidas humanas y económicas para la nación. A pesar de que dicho terremoto se presentó 69 años después del evento ocurrido en la provincia de Tungurahua en 1949, su ubicación sobre el Cinturón de Fuego del Pacífico incide en que el país sea vulnerable a nuevas catástrofes. Es así como nuevos desastres se pueden producir, llegando a originar desde movimiento de tierra hasta destrucción de edificaciones; ocasionando personas atrapadas debajo de escombros y llegando a últimas instancias a pérdidas humanas.

En este contexto, uno de los aspectos fundamentales en eventos catastróficos corresponde a las operaciones de rescate, que deben iniciar de forma inmediata después de ocurrido el evento; para lo cual los equipos de respuesta a desastres y voluntarios deben contar con las herramientas y equipos necesarios que faciliten la búsqueda de sobrevivientes a fin de garantizar la menor cantidad de pérdidas humanas. No obstante, la catástrofe suscitada en el año 2016 dejó en evidencia las falencias existentes con respecto al uso de equipos tecnológicos en las labores de rescate, lo cual se presenta como una problemática en caso de presentarse nuevos eventos sísmicos de gran magnitud.

En la mayoría de los casos, los equipos de rescate se enfrentan a desafíos especiales, durante las primeras horas de búsqueda, asociados principalmente a la carencia de los equipos necesarios. Por lo tanto, con base a dicha premisa, a través del presente proyecto se pretende diseñar e implementar un prototipo Georadar (GPR), para análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO, que contribuya a solucionar el problema identificado, pudiendo ser utilizado en las operaciones de rescate en caso de terremotos.

1.2. Importancia y alcances

La importancia del desarrollo del presente trabajo radica en que, actualmente los organismos de rescate como la Cruz Roja, Defensa Civil y Cuerpo de Bomberos, no poseen instrumentos que los ayude a detectar personas atrapadas bajo los escombros de una estructura colapsada a causa de un evento sísmico o diferente a éste. El funcionamiento de un Georadar, consiste en la emisión de ondas de radios en dirección hacia el sitio donde se desea explorar y su vez, captar las respuestas al choque de las ondas con objetos reflectantes, proporcionando una variación de la onda que es captada a través del instrumento de búsqueda, permitiendo detectar la ubicación de una persona atrapada debajo de escombros y una vida a la cual podremos salvar.

Al diseñar e implementar un Georadar capaz de detectar personas vivas debajo de escombros existe la posibilidad de salvar sus vidas, esto será posible analizando la emisión de una onda de radio, la cual será modificada por la frecuencia que producen los latidos del corazón y de la reflexión de ondas al chocar con estructuras óseas. Además, este prototipo puede configurarse para que también pueda brindar una imagen del entorno de la estructura caída; esto permitiría a los rescatistas no solo ubicar a la persona atrapada, sino también conocer la forma en la cual los escombros están ubicados, porque el sistema permite trabajar con un máximo de cuatro antenas, pudiendo disponer dos para la detección de personas y dos para el bosquejo del entorno, para determinar cuál es la mejor manera de llegar hasta el atrapado, sin exponerlo a él y a los rescatistas a errores en el levantamiento de escombros.

1.3. Delimitación del proyecto

A nivel geográfico, las pruebas para el diseño de un prototipo Georadar (GPR), para

análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO se desarrolla en laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, así mismo la delimitación temporal consta de un total de dieciocho meses.

1.4. Formulación del problema

La formulación del problema se establece de la siguiente forma: ¿Cómo afecta la carencia de un prototipo Georadar (GPR), para el análisis del subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO, en las labores de rescate?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo Georadar (GPR), para análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Implementar software LABIEW y hardware USRP RIO para el estudio y diseño de un prototipo para la transmisión y recepción de frecuencias usadas en la propuesta.
- Analizar los elementos de transmisión que permitirán alcanzar una mayor precisión.
- Diseñar un programa con el software LabView, en el cual se realizará configuraciones para la implantación del Georadar.
- Presentar valores captados por el software LabView mediante gráficas cartesianas, diagramas de Bode.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Dentro de este apartado, se encuentran conceptos, teorías y definiciones citadas de fuentes válidas de información, las mismas que le otorgarán el sustento científico al proyecto, que sirva a su vez como fuente de consultas para futuras investigaciones y proyectos efectuadas bajo un contexto similar por otros autores de otras instituciones, así como para la sociedad en general. Cabe mencionar, además, que la información citada en el presente acápite se refleja al final del documento, específicamente en la bibliografía, donde constan los datos a detalle de las fuentes y autores considerados para las citas y referencias teóricas, así como de toda la información citada en los diferentes capítulos de la investigación.

2.1.Marco contextual

En la actualidad, gracias a los avances tecnológicos suscitados en diversos ámbitos, han dado origen a la creación, mejoramiento y optimización de dispositivos y procesos en los cuales, salvar vidas es la principal función de estos. Tal es el caso de los dispositivos de geolocalización, los cuales han llegado a representar un importante avance en la obtención de imágenes mediante radiación electromagnética del subsuelo, que han permitido mejorar los servicios de investigación de estos, servicios públicos y construcción, arqueología (Geolec, 2016).

Por lo antes expuesto, se establece que el presente proyecto consiste en el diseño e implementación de un prototipo Georadar (GRP), para el análisis de subsuelo en la búsqueda de personas vivas con SRD URSP RIO, considerando que este tipo de proyecto contribuiría al salvamento vidas humanas luego de acontecimientos tanto de carácter

natural como lo ocurrido en el país a causa del terremoto, donde las labores de búsqueda se intensificaron por la falta de dispositivos adecuados para este tipo de labor; así como por accidentes que suelen darse, donde resulta fundamental este tipo de recursos, para optimizar los tiempos de respuesta de los rescatistas en cuanto a la planificación de la manera en la cual pueden encontrar a personas desaparecidas entre los escombros.

2.2.Marco teórico

2.2.1. Espectro radioeléctrico

Citando a Devis (2014):

El espectro radioeléctrico es el medio o espacio donde se propagan las ondas radioeléctricas y es la parte del espectro electromagnético que, técnicamente, está sujeta al control y administración del Estado. Es factible decir, que el espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado y contaminable, a través del cual viajan, sin necesidad de guía artificial, las ondas utilizadas para las telecomunicaciones y que, por lo mismo debe ser administrado de forma eficiente y racional por el Estado. (pág. 106)

Partiendo de lo expuesto por Davis, dada la existencia del espectro radioeléctrico es posible que se lleven a cabo las telecomunicaciones de origen inalámbrico, dado a que dicho espectro se compone de ondas electromagnéticas que se encuentran de manera natural en el espacio, haciendo posible que se recepte dicha señal en dispositivos como la radio, televisión, computadores y demás, a su vez, el uso que es posible hacer con este recurso, ha permitido con el paso del tiempo mejorar sectores tales como la seguridad, emergencias, telefonía móvil, entre otros.

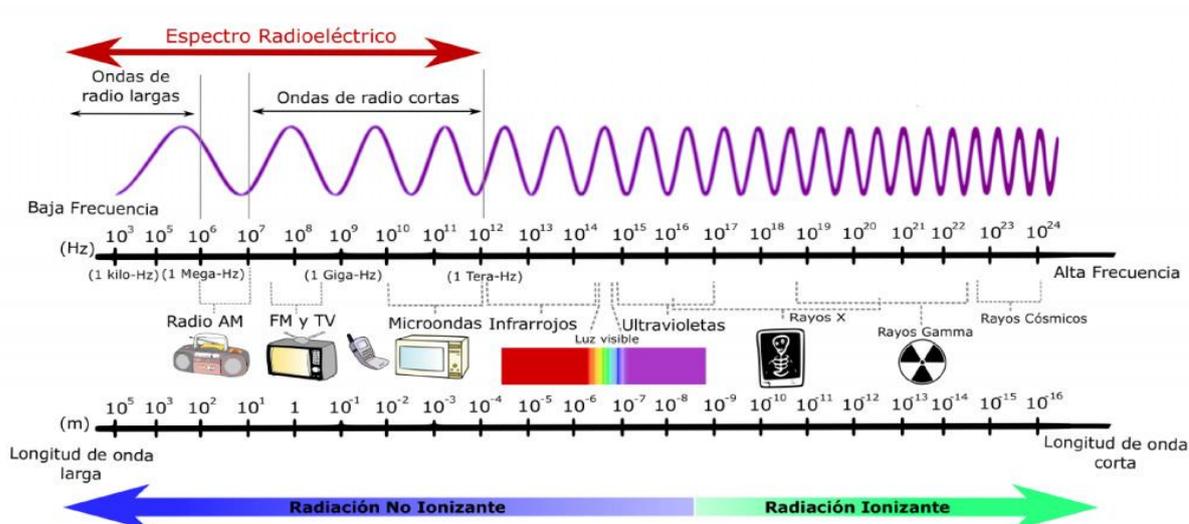


Figura 3. Espectro radioeléctrico
Fuente: Esopo (2018)

Específicamente el espectro electromagnético se encuentra compuesto por los siguientes tipos de ondas:

- Ondas de radio: Las ondas de radio son un tipo de radiación electromagnética, como las microondas, la radiación infrarroja, los rayos X y los rayos gamma. El uso más conocido de las ondas de radio es para la comunicación; la televisión, los teléfonos celulares.

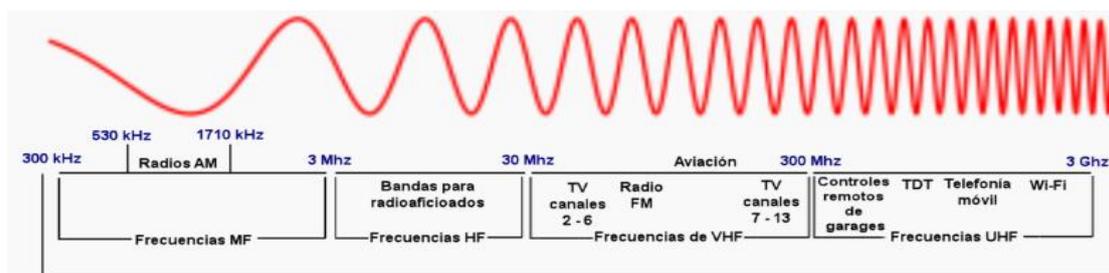


Figura 4. Ondas de radio
Fuente: Devis (2014)

- Ondas infrarrojas: Las ondas infrarrojas son un tipo de radiación electromagnética, similar a las ondas de radio, luz ultravioleta, y los rayos X. La luz infrarroja es la parte del espectro EM que los individuos pueden encontrar de forma más frecuente

en la vida cotidiana, aunque gran parte de ella pasa desapercibida. Es invisible para los ojos humanos, pero las personas pueden sentirlo como calor.

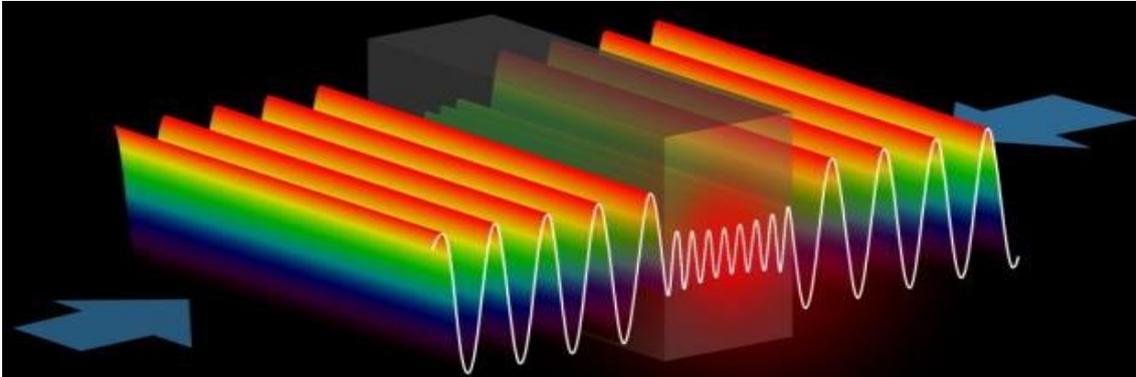


Figura 5. Ondas infrarrojas
Fuente: Gómez y Varela (2016)

- La luz visible: En general, la luz visible se define como las longitudes de onda que son visibles para la mayoría de los ojos humanos.

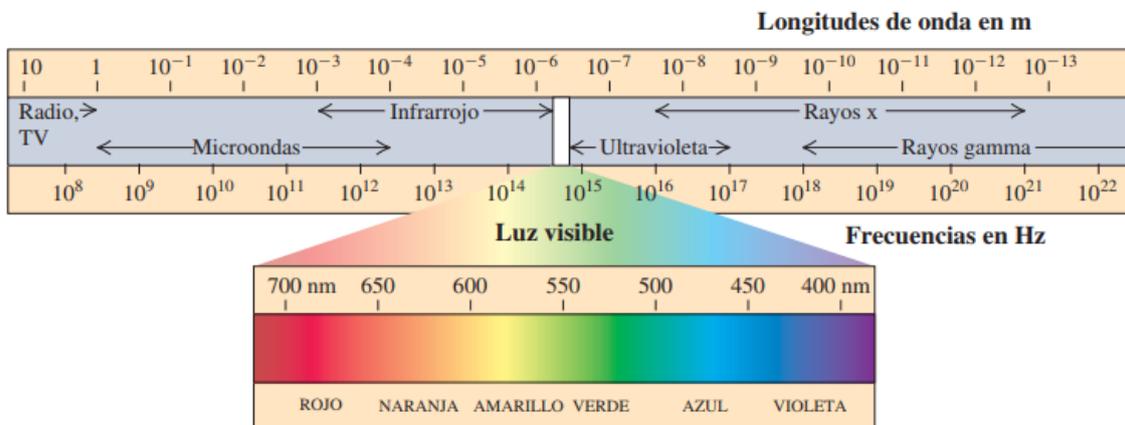


Figura 6. Luz visible
Fuente: Amaya (Amaya, 2016)

- Luz ultravioleta: La luz ultravioleta (UV) es parte de una familia de radiaciones llamada espectro electromagnético (EM). La luz ultravioleta está justo más allá del extremo violeta de la luz visible y tiene longitudes de ondas más pequeñas y mayor energía.

La luz ultravioleta es invisible al ojo humano pero se puede emplear para la desinfección contra microorganismos, incluidos protozoos resistentes al cloro.

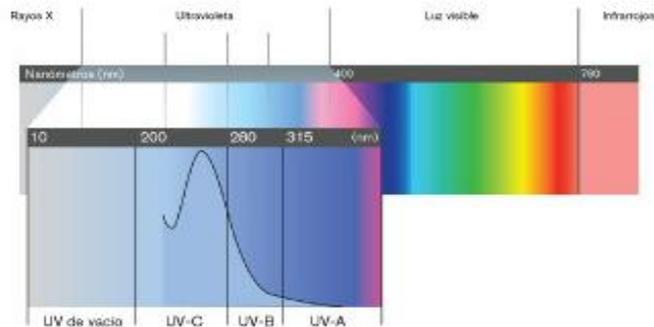


Figura 7. Luz ultravioleta
Fuente: Trojan UV (2018)

- Los rayos X: Los rayos X son radiación electromagnética que penetra diferencialmente las estructuras dentro del cuerpo y crea imágenes de estas estructuras en una película fotográfica o una pantalla fluorescente.

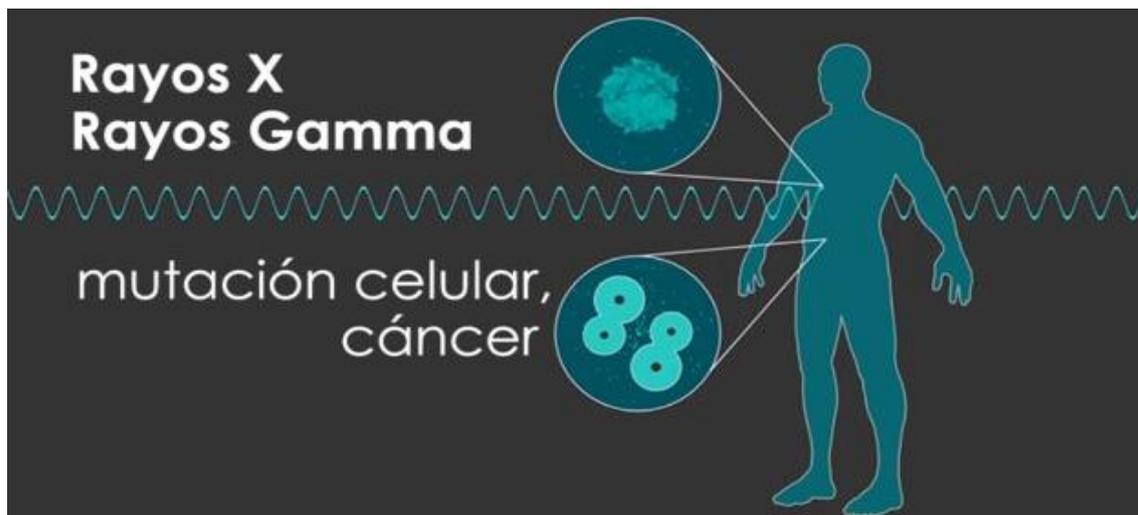


Figura 8. Rayos X
Fuente: Devis (2014)

- Los rayos gamas: Es una luz con las longitudes de onda más cortas y las más altas energías y frecuencias en el espectro electromagnético. Los rayos gamma son producidos por eventos violentos tales como explosiones de supernovas, también son producidos por la descomposición de materiales radiactivos.

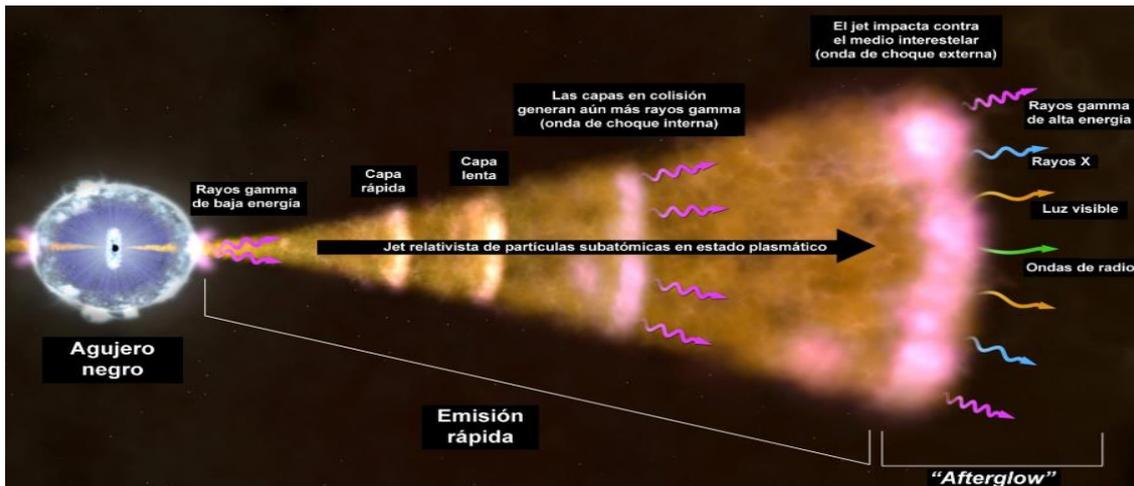


Figura 9. Rayos gamma
Fuente: Devis (2014)

En general, los tipos de ondas antes detalladas se consideran como tipos de energías de características similares, cuya diferencia radica principalmente en la frecuencia y la longitud con la cual se difunde la onda. Estas se miden por lo general en Hertzios que no son más que ciclos por segundo según lo explica (Tipler, 2014).

Cabe mencionar que existen tres categorías de propagación, las cuales son:

- Onda superficial 3000 KHz (LF y MF).
- Onda ionosférica: Va desde 3 MHz y 30 MHz (HF)
- Onda directa por encima de 30 MHz (VHF, UHF, SHF, etc.).

Por lo tanto, considerando todo lo antes descrito, es posible determinar que el espectro radioeléctrico se compone por las ondas electromagnéticas de radio, que permiten como tal la comunicación, y otras formas de energías que varían y se diferencian unas de otras por el tipo de frecuencia y la extensión de las ondas que se generan como tal. A continuación, se describe la división del espectro radioeléctrico:

Tabla 1

Distribución convencional del Espectro radioeléctrico

Distribución convencional del Espectro Radioeléctrico					
Sigla	Denominación	Longitud de onda	Gama de frecuencia	Características	Uso típico
VLF	Frecuencias muy bajas	30.000 m a 10.000 m	10 KHz a 30 KHz	Propagación por onda de tierra, atenuación débil. Características estables.	Enlaces de radio a gran distancia
LF	Frecuencias bajas	10.000 m a 100 m.	30 KHz a 300 KHz	Similar a la anterior pero de características menos estables	Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima
MF	Frecuencias medias	1.000 m. a 100 m.	300 KHz a 3 KHz	Similar a la precedente pero con una absorción elevada durante el día. Prevalece la propagación ionosférica durante la noche.	Radiación AM y onda corta.
HF	Frecuencias altas	100 m a 10 M.	3 MHz a 30 MHz	Prevalece propagación Ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche.	Comunicaciones de todo tipo a media y larga distancia
VHF	Frecuencias Muy Altas	10 m. a 1 m.	30 MHz a 300 MHz	Prevalece propagación directa, ocasionalmente propagación Ionosférica o Troposférica.	Enlaces de radio a corta distancia, Televisión, Frecuencia Modulada
UHF	Frecuencias Ultra Altas	1 m. a 10 cm.	300 MHz a 3 GHz	Solamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio, Ayuda a la navegación aérea, Televisión, WIFI
SHF	Frecuencias Superaltas	10 cm. a 1 cm.	3 GHz a 30 GHz	Como la Precedente	Enlaces de radio, Ayuda a la navegación aérea, Televisión, WIFI
EHF	Frecuencias ExtraAltas	1 cm. a 1 mm.	30 GHz a 300 GHz	Como la Precedente	Radar, enlaces de radio, Satélites
EHF	Frecuencias ExtraAltas	1 mm. a 0,1 mm.	300 GHz a 3.000 GHz	Como la Precedente	Como la Precedente

Fuente: Cabezas y Sánchez (2013)

2.2.2. Banda VHF

Desde la perspectiva de Pérez y Zamanillo (2015), las bandas *Very High Frequency* VHF, conocidas también como bandas de frecuencia ultracortas, proporcionan un alcance entre los 30 a 300 MHz, lo que es equivalente a 10 metros. Generalmente, este tipo de

banda se encuentra en la mayoría de los servicios de telecomunicaciones que existen en la actualidad, e integran la categoría de ondas hertzianas.

Es un hecho que aquellas estaciones emisoras bajo esta banda, trabajan con una cobertura reducida, a diferencia de las ondas cortas, especialmente cuando se va generando el alejamiento de los 30 MHz, ante lo cual toma mucha más relevancia las ondas aéreas, dejando rezagadas aquellas ondas que trabajan en la superficie terrestre. Esto tiene su sustentación, en el hecho de que las ondas de banda VHF se distribuyen de forma recta y bajo condiciones naturales no presentan un reflejo del mismo ante la ionósfera, dado a que pasan por sobre ésta atravesándola, para posteriormente prolongarse en el espacio exterior, donde pierden fuerza.

2.2.3. Antenas

Para García (2010), son dispositivos que se encargan de la emisión y recepción de las ondas electromagnéticas, ya sean estas de solo recepción, solo emisión o en simultaneo. Los usos para estos instrumentos son determinados por la aplicación que se quiera realizar con ellas, por ejemplo: sistemas militares, radares, sistemas de telefonía celular, estaciones de radio, microondas y televisión satelital. Algunas características que poseen las antenas son observables a través de la directividad, ancho de banda, anchura de haz, diagrama de radiación, como las más importantes.

Las antenas se pueden encontrar de tres tipos, los cuales son básicos para los diferentes propósitos que se les quiera dar, mismas que se detallan a continuación:

- **Antenas de hilo:** Las de hilo son aquellas cuyos elementos radiantes son conductores de hilo que ostentan una parte despreciable respecto a la longitud de onda de trabajo.



Figura 10. Antenas de hilo
Fuente: JIMDO (2018)

- **Antenas de apertura:** se caracterizan principalmente por su directividad, la cual concentra el haz electromagnético de todo el sistema en una sola dirección, permitiéndole enviar y recibir la señal sin pérdida de señal por lóbulos laterales amplios. El uso más común de esta antena es el enlace satelital con forma parabólica.

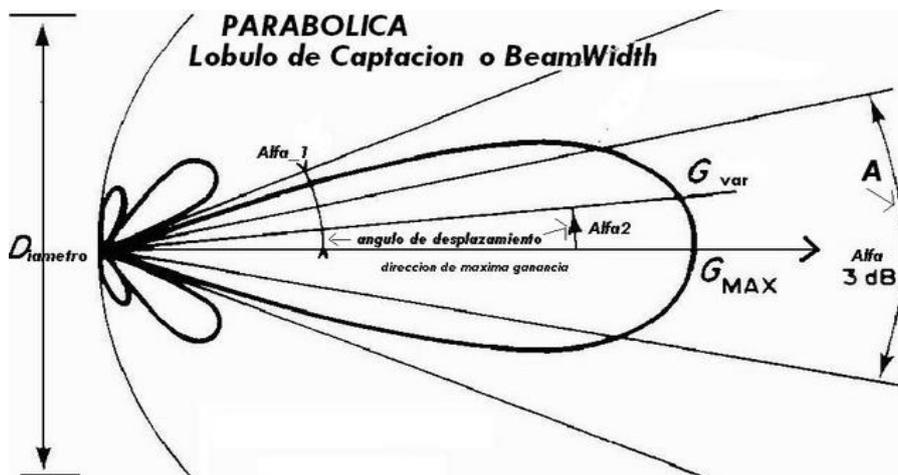


Figura 11. Antena parabólica
Fuente: Cortez (2018)

- **Antenas planas:** estas antenas se caracterizan por ser muy usadas en radares, por su forma de apertura sintética, estas presentan una excelente transmisión y recepción de señales electromagnéticas sin importar la variación de terreno.

También son conocidas como antena de plato, por la forma que tienen.



Figura 12. Antena plana
Fuente: Cortez (2018)

Así mismo, referenciando a Alba y Martín (2012), las antenas se emplean en varios sistemas y en diferentes formas, como en radio y televisión, comunicaciones de radio punto a punto; por lo que el tamaño y la forma de las antenas está de acuerdo con el tamaño de la longitud de onda de la señal. En este caso, además de la clasificación básica antes descrita, existe una amplia variedad de antenas, entre las cuales se encuentran las antenas de tipo reflector, de tipo bocina y tipo dipolo, que se describen a continuación:

- **Antena tipo reflector:** Consiste en una antena primaria que posee una superficie reflectante. Con esta disposición, es útil irradiar energía EM en la dirección deseada, pero no es posible colimar la energía en la dirección de avance. Los reflectores de antena pueden existir como un dispositivo independiente para redirigir la energía de radiofrecuencia (RF) o pueden integrarse como parte de un conjunto de antena.

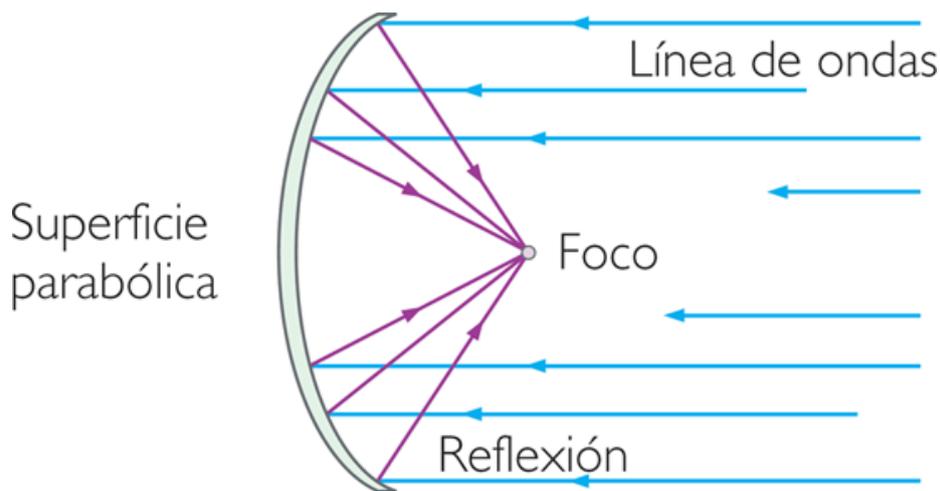


Figura 13. Antena tipo reflector
Fuente: Cortez (2018)

- **Antena tipo bocina:** Una antena de bocina se utiliza para la transmisión y recepción de señales de microondas. Deriva su nombre del aspecto acampanado característico, donde la parte abocinada puede ser cuadrada, rectangular o cónica, por lo que se puede decir que la antena se asemeja a un cuerno acústico. La máxima radiación y respuesta se corresponde con el eje del cuerno; en este caso, se alimenta con una guía de ondas.



Figura 14. Antenas de tipo bocina
Fuente: Direct Industry (2018)

- **Antena tipo dipolo:** Una antena dipolo es un conductor eléctrico recto que mide $1/2$ longitud de onda de extremo a extremo y está conectado en el centro a una línea de alimentación de radiofrecuencia (RF). Esta antena, también llamada

doblete, es uno de los tipos más simples de antena y constituye el principal elemento de radiación e recepción de RF en varios tipos sofisticados de antenas. El dipolo es intrínsecamente una antena balanceada, porque es bilateralmente simétrica (Alba & Martín, 2012).

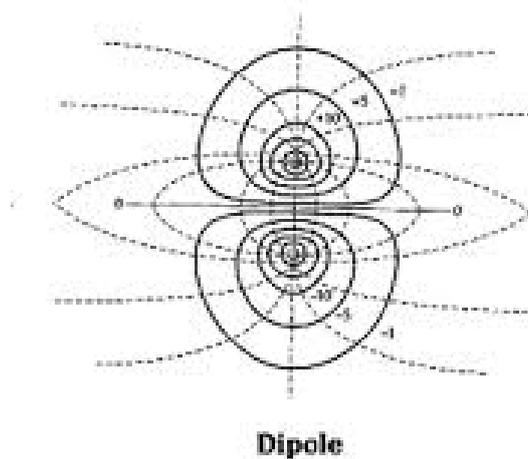


Figura15. Antena de tipo dipolo
Fuente: Alba y Martín (2012)

2.2.4. Antenas de recepción y transmisión

Cuando el transmisor ha emitido una onda portadora, la cual ha sido modulada por la señal, la onda que se genera como resultado se lleva a una antena; que en este caso se define como un dispositivo que permite la propagación de la onda portadora que ha sido modulada al espacio a manera de ondas electromagnéticas, es decir actúa como un elemento conductor de onda que recepta una señal que posteriormente se radia al espacio libre.

Cabe destacar que para que la conductividad de la antena sea eficaz, esta debe ser apta para el tipo de frecuencia que se pretende irradiar; las antenas de transmisión por lo general poseen longitudes de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, o $\frac{1}{8}$ de la longitud de onda que se encargan de

transmitir. Con base a esta perspectiva, existen parámetros específicos que permiten caracterizar a las antenas:

- **Densidad de potencia radiada:** Este parámetro se establece como la potencia por unidad de superficie que se emite en una dirección; dichas unidades se miden como vatios por metro cuadrado, y pueden calcularse con base a los valores eficaces de los campos E y B.
- **Directividad:** Se establece como la relación que existe entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia; y la densidad de potencia radiada a la misma distancia, así como también a la potencia total radiada.
- **Ganancia:** Se establece como la relación que existe entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena; así como también la distancia y potencia que se recepta en la antena.
- **Polarización:** La polarización, también llamada polarización de onda, es una expresión de la orientación de las líneas de flujo eléctrico en un campo electromagnético (campo EM). La polarización puede ser constante, es decir, existe en una orientación particular en todo momento, o puede rotar con cada ciclo de onda.
- **Impedancia:** Se establece como la relación que se genera entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada; generalmente es completa. En este caso, la parte real de la impedancia se define como resistencia de antena, y la parte imaginaria se reconoce como reactancia de antena.

2.2.5. Antenas Monoestáticas

Estas antenas poseen dos módulos separados, es decir, posee independencia de emisión y recepción de señal. Uno de sus mayores usos es el calcular velocidades aparentes de

propagación al variar la distancia entre ellas; otro ejemplo sería el estudio de la prospección sísmica o análisis de suelo. (Roa Ramos, 2015)

2.2.6. Antenas Biestáticas

Poseen como característica principal, es que pueden emitir o recibir la señal electromagnética en simultaneo, es decir, transmiten y reciben la señal deseada. Estas pueden ser de Dipolo o de Conmutación, siempre y cuando la antena tenga un oscilador, el cual haga el intercambio del emisor o de receptor, por intervalos de tiempo. (Roa Ramos, 2015, pág. 19)

2.2.7. Propagación en medios sin pérdidas y con pérdidas

2.2.7.1. Propagación en medios sin pérdidas

Según López (2016), “Tener un medio sin pérdidas indica que no existe conductividad en ese medio, es decir, que la conductividad es cero” (pág. 8).

Referenciando a López (2016), se dice que una línea de transmisión es sin pérdidas si los conductores de la línea son perfectos, es decir, conductividad $\sigma_c = \infty$ y el medio dieléctrico entre las líneas es sin pérdidas, es decir, conductividad $\sigma_d = 0$. Por lo tanto, en el corto plazo, la impedancia de entrada de una línea de transmisión uniforme, sin pérdidas y sin distorsiones parece puramente resistiva. Ningún otro circuito sino una resistencia exige una corriente constante en respuesta a un cambio de paso en el voltaje, si el circuito requiere una corriente uniforme, parece una resistencia. Las condiciones para que se presente la propagación de un medio sin pérdida, se determinan a partir de la aplicación de las siguientes ecuaciones 1.4a y 1.4b:

$$\text{Ecuación 1.4a: } \alpha = 0$$

$$\text{Ecuación 1.4b} \quad \beta = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$$

Si cree en la propagación sin pérdidas, es decir, si cree que el borde ascendente se propaga sin degradación sensible, a una velocidad constante, sin pérdida significativa de amplitud, también debe reconocer que, en cada unidad de tiempo similar, la forma de onda de borde ascendente carga una cantidad uniforme de capacitancia. En otras palabras, durante cada unidad de tiempo, el circuito requiere un depósito uniforme de carga, un flujo constante de carga en el circuito significa que el conductor debe suministrar una corriente constante (López, 2016).

Las propiedades de la propagación sin pérdidas y la impedancia de entrada resistiva están inextricablemente unidas. No puede hacer un medio de propagación sin pérdida sin que también tenga una impedancia de entrada puramente resistiva (en el corto plazo). Ahora, después de que su señal de borde ascendente golpea el punto final, refleja y regresa a la fuente, ocurre algo diferente.

La propagación ya no es uniforme en ese caso. La impedancia de entrada de la estructura ya no puede aparecer puramente resistiva. Esa es una historia diferente. Para cualquier evento a corto plazo, cualquier cosa que tenga que ver con el tiempo de subida, la diafonía, el rebote en el suelo u otras señales tan cortas que no tengan tiempo de llegar al final de la línea y regresar antes de que todo el evento haya pasado, la impedancia de entrada de una línea de transmisión de PCB parece puramente resistiva (López, 2016).

2.2.7.2. Propagación en medios con pérdidas

Según Lara (2013):

La pérdida por propagación se modela generalmente como el producto de la *enésima* potencia de la distancia y un componente log-normal que representa pérdidas por oscurecimiento. Este modelo representa pérdidas que varían lentamente, aún para usuarios en movimiento y se aplica tanto para el canal directo como para el inverso. (pág. 69)

La pérdida de transmisión es el parámetro que compara la cantidad de intensidad de la señal en un rango específico de la fuente a la fuente intensidad en una yarda; en este caso suponiendo que se tiene una fuente puntual que emite una señal en todas las direcciones, es decir, en tres dimensiones. La fuente produciría frentes de onda a forma de esferas que aumentarían de tamaño a medida que la onda se propaga fuera de la fuente, por lo tanto, es importante tener en cuenta que la potencia en cada frente de onda, según se muestra a continuación:

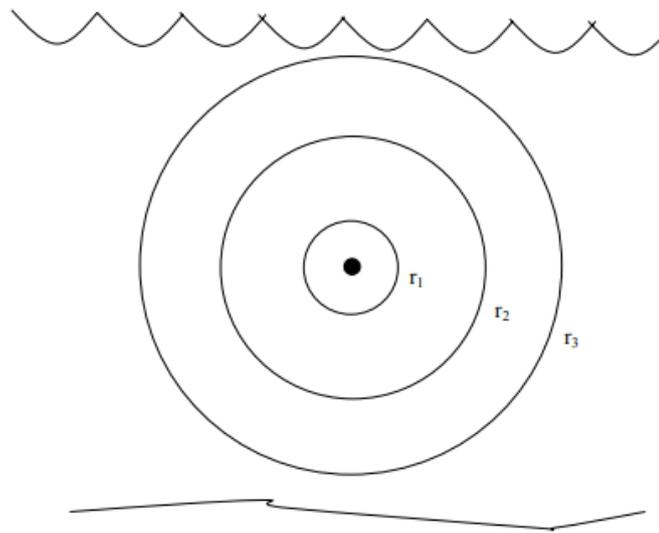


Figura16. Propagación de onda
Fuente: Alba y Martín (2012)

Las pérdidas de potencia relacionadas con la reflexión de las ondas que se propagan a través de una interfaz entre dos dieléctricos se evalúan teniendo en cuenta las pérdidas dieléctricas en los medios. Con base en los resultados del análisis de la propagación de ondas electromagnéticas en medios, es posible formular requisitos técnicos para los

radiadores implantados en un medio determinado. Así mismo, es importante considerar que la propagación sería una constante, aunque el tamaño del frente de la ola crecería, lo que supone que no se pierde potencia de la onda debido a la atenuación. La potencia de un frente de onda o esfera se puede expresar en términos de la intensidad de la onda donde:

$$P = IA = I 4\pi r^2$$

Cabe destacar que la ecuación anterior se utiliza para determinar la pérdida de transmisión solo debido a la dispersión esférica. La dispersión esférica es el factor más dominante en la pérdida de propagación; sin embargo, existen otros factores que deben considerarse, tales como: la dispersión cilíndrica, el rango de transmisión, la atenuación, la viscosidad, la relajación iónica y factores de no absorción.

2.2.8. Reflectividad en ondas electromagnéticas

Citando lo expuesto a través 3M Corporation (2014):

La reflectividad surge como una parte de la propagación de energía a través de ondas que luego se ven reflejadas sobre una superficie, por lo tanto, esta no surge por la generación de su luz propia, sino que se nace al tomar luz suministrada por otro recurso o fuente. (pág. 1)

Al momento en que las ondas de luz tocan el objeto en el cual se reflejan, rebotan en el mismo, de lo cual, dependiendo de cuán brillante se visualice este, determinará el nivel de reflectividad que presenta el objeto. Cabe mencionar, que esto dependerá directamente de la intensidad de la luz que alcance al objeto, así como dependerá de los recursos empleados para realizar dicha prueba.

La propagación de ondas electromagnéticas en varias condiciones desde antes y ahora sigue siendo de interés para casi todas las aplicaciones que involucran la emisión y recepción de señales de radio en situaciones de la vida real, dentro o fuera de entornos de construcción. Requiere de mucha más atención que se efectúen estudios como para la modelización de propagación de ondas dentro de edificios y en cualquier otro medio, incluido el espacio abierto (es decir, las ciudades), ya que estos los problemas son cruciales para el correcto funcionamiento de los dispositivos móviles comunicaciones, navegación por satélite, seguimiento y rastreo de personas y bienes, etc.

Desde la perspectiva de Reyes (2014), Como las ondas electromagnéticas, y en este caso, las señales de radio viajan, interactúan con los objetos y los medios en los que viajan. Al hacerlo, las señales de radio pueden reflejarse, refractarse o difractarse. Estas interacciones hacen que las señales de radio cambien de dirección y alcancen áreas que no serían posibles si las señales de radio viajaran en línea recta.

2.2.9. Fuentes de onda

- Las ondas electromagnéticas al ojo humano no son perceptibles, por lo que se requieren de la aplicación de métodos directos para identificarlas correspondientemente con su nivel de intensidad o fuerza. Entre las alternativas para medir los efectos de propagación de las ondas cuando viajan por el espacio es posible obtenerlo con la medición de las fuentes de ondas y rayos. Particularmente un rayo se lo plasma como una línea que se traza conforme ha viajado la onda en una dirección de onda de propagación, con lo cual es posible diagramar la dirección relativa de la propagación de la onda electromagnética, que no necesariamente hará referencia al paso de una sola onda electromagnética.

2.2.10. Selección de la frecuencia de muestreo

Con el criterio de Nyquist la traza debe ser muestreada, obteniendo como el mínimo intervalo, la mitad del periodo y este corresponde a la máxima frecuencia irradiada.

2.2.11. Factores de interferencias

2.2.11.1 Atenuación

La atenuación es el valor medido matemáticamente como el cuadrado inverso de la densidad de potencia de la radiación variante por la distancia desde la fuente. Mientras más se dispersa la señal, el campo de radiación pierde potencia, dando así la atenuación.; lo que puede ser catalogado como la cantidad de onda por unidad del área, siendo proporcional a la distancia, menor distancia igual a menor pérdida de señal, mayor distancia igual a mayor pérdida de señal. (Villa, 2015)

2.2.11.2. Absorción

Esta puede darse dado que el espacio de propagación no es el vacío, este presenta moléculas, átomos, lo cual es a macromedida, son gases u objetos solidos con diferenciales eléctricos en sus átomos y estos pueden absorber cierta cantidad de energía de las ondas electromagnéticas. Toda señal al ser propagada en el medio va a tender a una pérdida de potencia por absorción, ésta puede ser mayor o menor según el ambiente de propagación. (Villa, 2015, pág. 11)

2.2.11.3. Reflexión

Toda onda electromagnética al atravesar un objeto ya sea solido o gaseoso tiende a cambiar su dirección de propagación dado al ángulo de incidencia al objeto; éste puede considerar como perdidas dado que a que una señal reflectada no obtendrá la misma

potencia de una onda electromagnética propagada en línea directa. (Villa, 2015)

2.2.11.4. Difracción

Una difracción se produce cuando al emitir una señal y esta con su frente de onda pasara a través de la orilla de un objeto opaco y que su longitud de onda presente características similares al objeto opaco. (Villa, 2015)

2.2.11.5. Interferencia

Esta se produce al emitir ondas electromagnéticas cuyas longitudes de onda y directividad sean similares u opuestas, dado que al ser parecidas estas pueden sobreponerse la una sobre la otra; y si son opuestas, pueden suprimirse totalmente. (Villa, 2015)

2.2.12. Frente de onda

Esta hace referencia a un frente de onda cuya superficie es perpendicular con relación a la dirección en la que se propaga, por lo cual, al momento de identificarse una superficie plana, es posible determinar que su frente de onda será directa con relación a la dirección en la que se ha generado, por lo que se determina que, a mayor cercanía a la fuente de onda, su complejidad de identificación se incrementa, como se detalla en la siguiente figura:

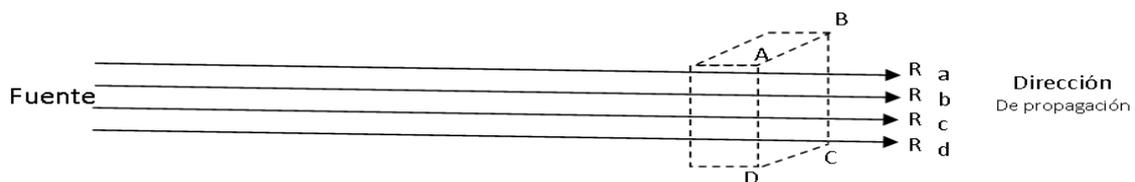


Figura 17. Fuente de onda plana
Fuente: (Blanco, 2016)

2.3. Efecto Doppler

Desde la perspectiva de Blanco (2016):

El efecto Doppler en sí, es un fenómeno físico que se percibe según el cambio de frecuencia de onda generado por una determinada fuente de sonido con respecto a su observador cuando esa misma fuente se encuentra en movimiento. El nombre como tal de este tipo de fenómeno hace referencia a su descubridor, el austriaco Christian Andreas Doppler, quien se desempeñó como matemático y físico, generando y proponiendo varias teorías sobre el efecto Doppler a partir de 1842. (pág. 22)

En otras palabras, esto puede describirse como el efecto derivado de una fuente de ondas en movimiento en la que hay un supuesto cambio de la frecuencia desde la percepción de la persona, es decir que cuando esta se acerca al observador incremento, así como disminuye dicha frecuencia desde la perspectiva de las personas observadoras al alejarse la fuente de ondas de este.

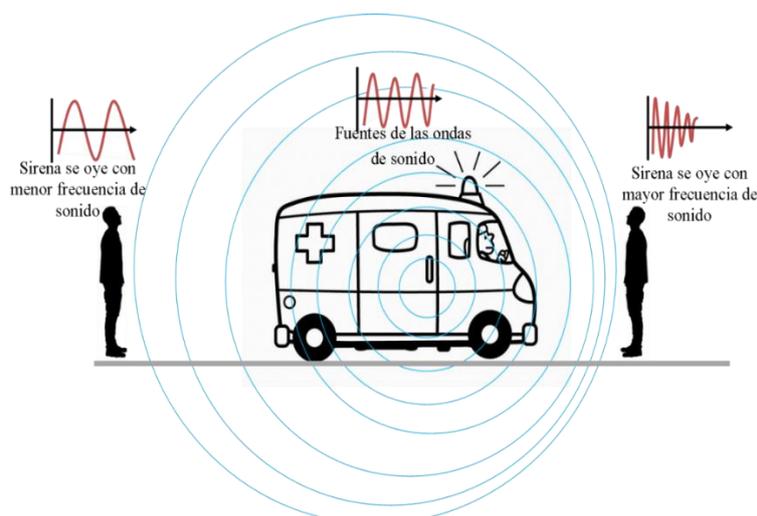


Figura18. Efecto Doppler
Fuente: (Blanco, 2016)

Es importante tener en cuenta que el efecto no se debe a un real cambio en la frecuencia de la fuente, sino que, es la percepción de las personas observadoras, a las cuales según

la distancia y poder de la frecuencia de onda le parece que incrementa o disminuye conforme está se acerca o se aleja. El efecto Doppler se puede observar para cualquier tipo de onda: onda de agua, onda de sonido, onda de luz, etc.

Por lo general, existe una mayor familiarización con el efecto Doppler hacia las ondas de sonido. Tomando en consideración, el ejemplo nuevamente de vehículo de ambulancia o de policía que se acerca o se aleja, modificando así la percepción del observador o una persona común, de escuchar un sonido más fuerte o un sonido que se reduce respectivamente (Bermúdez & Briones, 2015).

2.3.1. Efecto Dopplerpatch

Citando a Higuera (2014):

La medición del tiempo de retorno y vuelta es fundamental para los radares, pero puede ser difícil distinguir los retornos del objetivo de interés y otros objetos o antecedentes ubicados a distancias similares. El uso del procesamiento Doppler permite utilizar otra característica del retorno: la velocidad relativa. El procesamiento Doppler se hizo posible con las computadoras digitales y hoy en día, casi todos los sistemas de radar incorporan procesamiento Doppler. (pág. 21)

Al medir la frecuencia Doppler, el radar puede medir la velocidad relativa de todos los objetos que devuelven ecos al sistema de radar, ya sean aviones, vehículos o eventos registrados de la tierra. El filtrado Doppler se puede usar para identificar entre objetos que se mueven a diferentes velocidades relativas. Un ejemplo es el radar aéreo que intenta rastrear un vehículo en movimiento en el suelo. Como el suelo es estático, estará en el mismo rango que el vehículo, la diferencia de velocidad será una media de diferencia.

La relación entre la longitud de onda y la frecuencia es:

$$\lambda = v/f$$

dónde:

f = frecuencia de onda (Hz o ciclos por segundo)

λ = longitud de onda (metros)

v = velocidad de la luz (aproximadamente 3×10^8 metros / segundo)

Esto se traduce, a que en un sistema de radar la frecuencia del pulso es modificada por el proceso mismo al ser reflejado por un objeto en movimiento. Como ejemplo es posible considerar la transmisión de una onda sinusoidal. La distancia desde la cresta de cada ola a la siguiente es la longitud de onda, que es inversamente proporcional a la frecuencia.

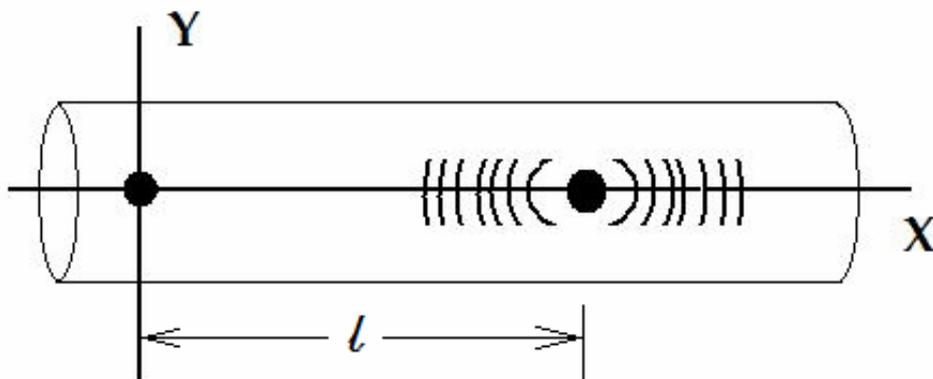


Figura 19. Observador y fuente de sonido, separados una distancia l dentro de un tubo, donde se puede mover el aire en el eje -X

Fuente: (Laboratorio de Física 3, 2016)

Hay varias aplicaciones del efecto Doppler. Se usa en:

1. Sirenas.

2. Astronomía.
3. Radares.
4. Imágenes médicas y gestión del flujo sanguíneo.
5. Gestión de flujo.
6. Gestión del perfil de velocidad.
7. Comunicación satelital.
8. Audio.
9. Medida de vibración.
10. Georadares.

El efecto Doppler, debido a su funcionalidad, a más de permitir entender las modificaciones de las ondas del sonido, se ha aplicado en otras múltiples áreas fundamentales dentro del desarrollo del ser humano, un ejemplo de esto es la astronomía, ya que a partir de este efecto es posible calcular la velocidad a la que las estrellas y las galaxias tienden acercarse o alejarse de la Tierra. A su vez, se emplea en algunos tipos de radares con el objetivo de calcular la velocidad de objetos identificados previamente.

A su vez, dentro del contexto medicinal, se ha aprovechado para la obtención de las imágenes médicas, e incluso de manera mucho más aplicada, particularmente para control sanguíneo, por lo cual el efecto Doppler ha significado un mayor aprovechamiento y descubrimientos de la ciencia aplicada a la medicina, permitiendo así entender desde lo más básico, hasta los sonidos menos perceptibles para el oído del ser humano (Allán & McDicken, 2013).

El efecto Doppler para las ondas de luz en la Tierra es tan pequeño que no es posible

notarlo; sin embargo, para los expertos en la materia, cuando se estudia la luz de las estrellas, el efecto Doppler es bastante notable. Las estrellas emiten luz usando un prisma, esta luz se puede extender a un espectro, por lo cual, si fuera posible mirar el espectro de la luz solar o de cualquier otra estrella, sería perceptible el espectro de color desde el rojo hasta el violeta.

Si una estrella se mueve hacia la tierra, el patrón completo del espectro se desplaza a longitudes de onda más cortas, o hacia el extremo azul del espectro. Este cambio se llama desplazamiento azul o cambio violeta a veces. Si la estrella está retrocediendo, el patrón se mueve hacia longitudes de onda más largas y más rojas.

2.4. Transformadas: de Fourier, corta de Fourier

Según lo analizado por Herrera (2013):

Se entiende por transformadas de Fourier a un conjunto complejo de ecuaciones matemáticas para la creación de los primeros hologramas, mediante la cual sería posible la transformación de las señales de los dominios de tiempo a un tipo de dominio de frecuencia, que puede ser aplicado tanto al campo de la física como dentro la ingeniería. (pág. 12)

Partiendo de lo antes descrito, la Transformada de Fourier es considerada una importante herramienta en la actualidad para el análisis de diversos aspectos de aquellas ecuaciones que se derivan de parciales. Por ende, el término de este tipo de ecuaciones está directamente relacionado a la operación de transformación, así como se relaciona con la funcionalidad que se genera. La Transformada de Fourier es una herramienta que rompe una forma de onda (una función o señal) en una representación alternativa,

caracterizada por el seno y el coseno. A su vez, esta muestra que cualquier forma de onda puede reescribirse como la suma de funciones sinusoidales.

Prácticamente todo en el mundo se puede describir a través de una forma de onda, una función de tiempo, espacio o alguna otra variable. Por ejemplo, ondas sonoras, los campos electromagnéticos, el precio de un determinado producto en función del tiempo ofertado, etc. La Transformada de Fourier brinda una forma única y poderosa de visualizar estas formas de onda.

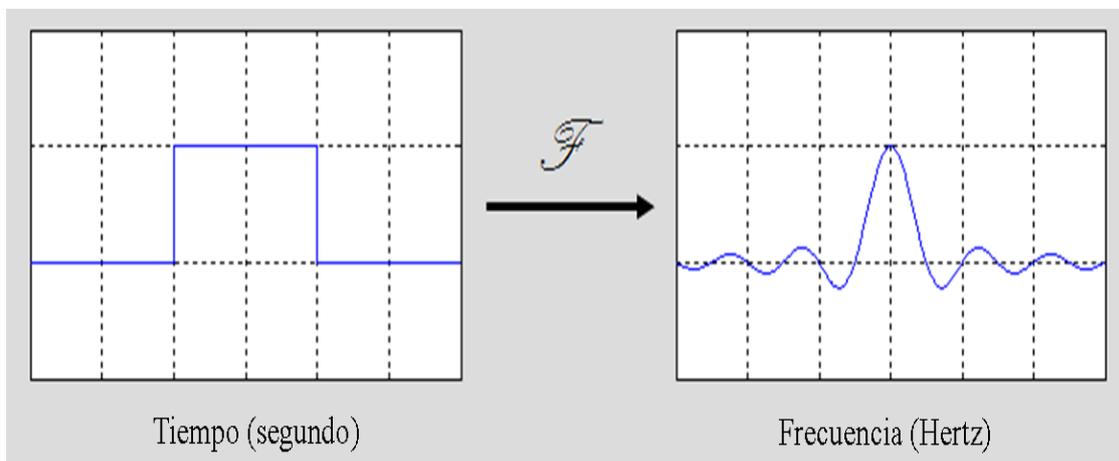


Figura 20. Transformada de Fourier
Fuente: (González, 2015)

La transformada de Fourier descompone una forma de onda, básicamente cualquier forma de onda del mundo real, en sinusoides (curva que representa de manera gráfica cual es la función del seno, como a la función misma de la curva). Es decir, la Transformada de Fourier brinda otra forma de representar una forma de onda. Esto se aplica a las señales de TV, señales de teléfonos celulares, las ondas de sonido que viajan en las llamadas. En general, las formas de onda no se componen de un número discreto de frecuencias, sino más bien un rango continuo de frecuencias.

Es por esto, que la Transformada de Fourier es la herramienta matemática que muestra cómo analizar por parte la forma de onda en sus componentes sinusoidales. Esto tiene una multitud de aplicaciones, ayuda en la comprensión de varios aspectos en materia científica y de ingeniería desde su descubrimiento y aplicación (Seeley, 2014).

2.5. Polarización en antenas

La polarización consiste en la orientación que se ejerce sobre un campo electromagnético, irradiado a través de una antena, siendo esto típicamente lineal de manera vertical u horizontal, pocas veces siendo elípticamente. (Tomasi, 2013)

Con base a lo establecido por Tomasi (2013), la polarización de la antena, conocida también como polarización de onda, es un término que se utiliza para referirse a la dirección que toman las líneas de flujo eléctrico en un campo electromagnético, y es fundamental en los sistemas de transmisión inalámbrica. En este caso, la polarización puede ser uniforme, lo que significa que puede mantener una dirección u orientación en particular de forma permanente, o en su defecto puede cambiar con cada ciclo de onda.

Por otra parte, considerando que la distribución física de una antena inalámbrica equivale a la polarización ésta que recibe o transmite; en el caso de las antenas verticales se emitirá ondas polarizadas verticalmente, mientras que en las antenas horizontales las ondas se emitirán de forma horizontal. Partiendo de este principio, se puede decir que, en las mejores transmisiones de corto rango, se logran cuando las antenas de transmisión y recepción poseen la misma polarización.

Por otra parte, las transmisiones de corto rango menos eficaces suelen presentarse

cuando las dos antenas están en ángulo recto, es decir una horizontal y una vertical. En este caso, a grandes distancias, la atmósfera puede hacer que la polarización de una onda de radio fluctúe, por lo que la distinción entre horizontal y vertical se vuelve menos significativa (Tomasi, 2013).

De acuerdo a Gallardo (2015):

La polarización de la onda radiada por una antena puede variar en relación a la dirección respecto del eje de la antena. Por ello, cuando nos referimos a la polarización de una antena, solemos hacer mención a la polarización en la dirección donde la antena radia más potencia. (pág. 101)

En este contexto, Gallardo (2015), refiere que algunas antenas inalámbricas transmiten y reciben ondas cuya polarización gira 360 grados con cada ciclo de onda completo; este tipo de polarización, denominada polarización elíptica o circular, puede presentarse en sentido horario o antihorario. Con base a este principio, los mejores resultados de comunicación se obtienen cuando las antenas transmisoras y receptoras tienen el mismo sentido de polarización; mientras que las peores comunicaciones generalmente se presentan cuando las dos antenas irradian y reciben en el sentido opuesto (una en el sentido de las agujas del reloj y la otra en el sentido contrario a las agujas del reloj).

En este contexto, una antena con polarización lineal se irradia por completo en un plano que contiene la dirección de propagación; mientras que, en una antena polarizada de forma circular, el plano de polarización gira en un círculo haciendo una revolución completa durante el período de la onda. Si la rotación gira en el sentido de las agujas del reloj en la dirección de propagación, el sentido de propagación se denomina circular

derecho-circular (RHC), mientras que, si la rotación se presenta en sentido contrario a las agujas del reloj, el sentido se denomina circular izquierdo-circular (LHC). Referenciando a Gallardo (2015), las principales aplicaciones de los diferentes tipos de antenas polarizadas son los siguientes:

- Las antenas polarizadas verticalmente se utilizan principalmente cuando se pretende irradiar una señal de radio en todas las direcciones en un rango corto a mediano.
- Las antenas polarizadas de forma horizontal se utilizan en distancias más largas para disminuir la interferencia generada por los equipos polarizados verticalmente que emiten otros ruidos de radio.

En otro apartado, es importante destacar que la polarización afecta la propagación de los campos electromagnéticos en infrarrojos (IR), visibles, ultravioleta (UV) e incluso longitudes de onda de rayos X, puesto que en la luz visible ordinaria, existen diversos componentes de onda en ángulos de polarización aleatorios; cuando dicha luz pasa a través de un filtro especial, el filtro bloquea toda la luz excepto que tiene una cierta polarización (Hernández, 2013).

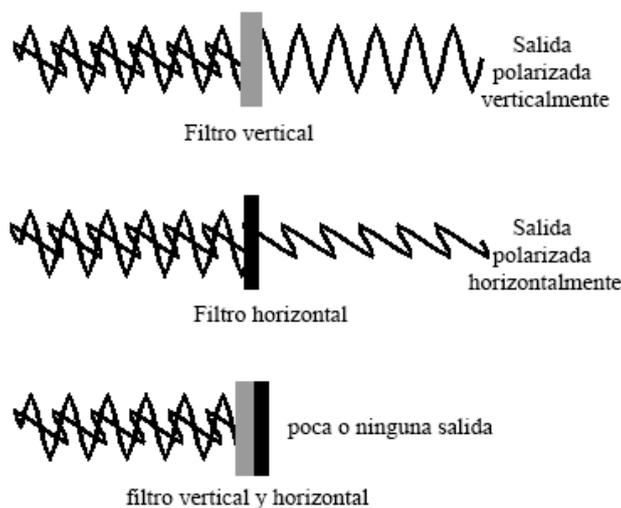


Figura 21. Efectos de polarización
Fuente: (Rouse, 2013)

En este caso, referenciando a Hernández (2013), cuando dos filtros de polarización se colocan de tal manera que un rayo de luz pasa a través de ambos, la cantidad de luz transmitida depende del ángulo de los filtros de polarización uno con respecto al otro. Por lo tanto, se transmite la mayor cantidad de luz cuando los dos filtros están orientados, por lo que polarizan la luz se orienta a la misma dirección; mientras que se transmite una menor cantidad de luz cuando los filtros están orientados en ángulo recto entre sí.

2.6. Radargrama y espectrograma

2.6.1. Radargrama

Según Fernández (2013), “El radargrama es un tipo de representación de los datos sísmicos. Su apariencia es completamente similar a la sección sísmica e idéntica a la nomenclatura para describir sus elementos” (2013). El radar de penetración subterránea o Georadar (GPR) utiliza una señal de radio de alta frecuencia que se transmite a la tierra, permitiendo que las señales reflejadas se visualicen al receptor y sean almacenadas en medios digitales. Los datos brutos que provienen del equipo GPR son datos digitales que miden las reflexiones a lo largo de un perfil que se extrae de la antena del radar.

En este caso, el radargrama se define como una medida de las amplitudes de reflexión y el tiempo de viaje que toman las reflexiones, por lo tanto, los objetos más profundos requieren más tiempo para registrar estas reflexiones. Al cortar muchos perfiles de radargramas recogidos a través del sitio, generalmente se puede visualizar reflejos en varios tiempos de viaje o profundidades dentro del suelo, esto se visualiza con una serie de cortes de arriba (Fernández, 2013).

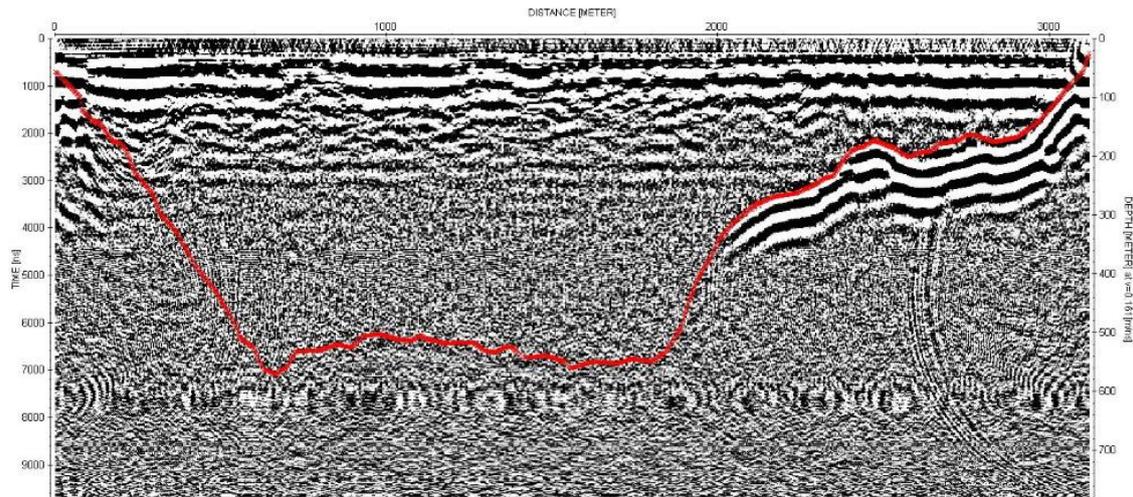


Figura 22. Radargrama
Fuente: (Tecmoser, S.L., 2018)

Referenciando a Carrick (2017), los diferentes tipos de suelo, hormigón, material de relleno, desechos y cantidades variables de saturación de agua tienen diferentes propiedades dieléctricas y conductivas que afectan las ondas GPR y, por lo tanto, la interpretación de los datos del radargrama. Aunque las imágenes de datos se muestran en la pantalla, todavía requieren que alguien con experiencia en el campo las interprete para determinar con exactitud los hallazgos.

En la mayoría de los casos, se puede determinar un rango de profundidad estimado con precisión basada en el material subsuperficial y la frecuencia de la antena GPR. En este caso, para aplicaciones que requieren una resolución más alta, como la ubicación de barras de refuerzo o conductos en concreto, se utiliza un sistema GPR de mayor frecuencia (1,000 MHz). Esto proporcionará detalles de alta resolución de hasta aproximadamente 24 pulgadas de profundidad. Las aplicaciones que requieren una penetración más profunda en suelo terrestre requieren una frecuencia más baja (12.5 MHz a 500 MHz). Dependiendo del material del subsuelo, el rango de profundidad puede ser desde unas pocas pulgadas hasta miles de pies (Carrick, 2017).

2.6.2. Espectrograma

De acuerdo con Díaz, Geeslin y Gurzynsk (2017)i:

El espectrograma consiste en una representación de la energía sonora que nos permite ver tres dimensiones: el eje vertical se corresponde con la frecuencia y la intensidad, el eje horizontal se corresponde con la duración. Otra manera de medir la intensidad tiene que ver con la oscuridad en el espectrograma debido a un mayor o menor grado de energía. (pág. 65)

Un espectrograma es una forma visual de representar la intensidad de la señal de energía, a lo largo del tiempo a varias frecuencias presentes en una forma de onda particular. No solo se puede ver si hay más o menos energía en, por ejemplo, 2 Hz frente a 10 Hz, sino que también se puede visualizar cómo los niveles de energía varían con el tiempo (Díaz, Geeslin, & Gurzynski, 2017).

Referenciando a Nava (2015), en otras ciencias, los espectrogramas se usan comúnmente para mostrar frecuencias de ondas de sonido producidas por humanos, maquinaria, y animales, según lo registrado por micrófonos.

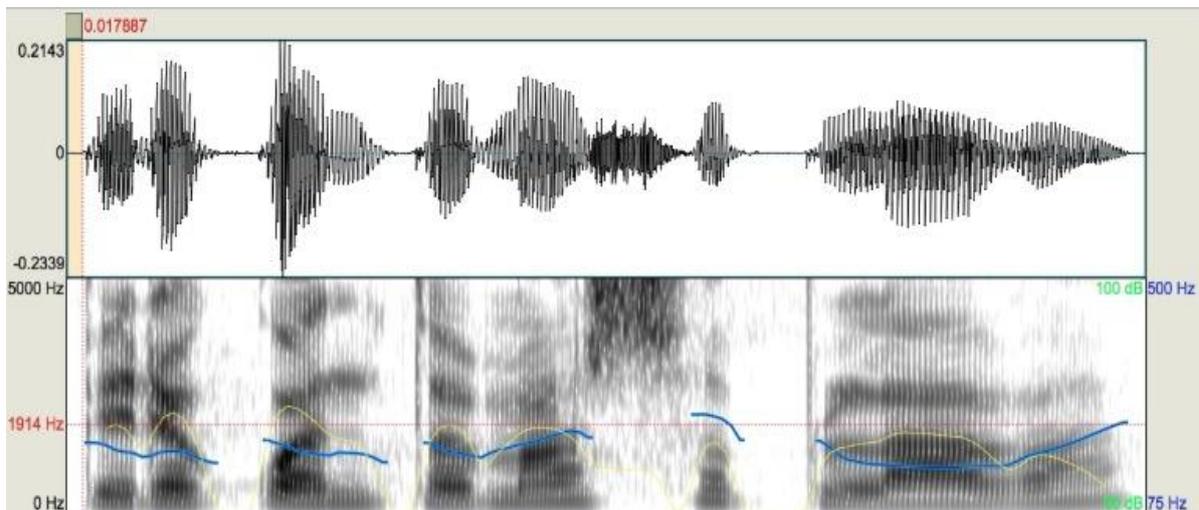


Figura 23. Espectrograma
Fuente: (Díaz, Geeslin, & Gurzynski, 2017)

En el mundo sísmico, los espectrogramas se utilizan cada vez más para observar el contenido de frecuencia de señales continuas registradas por individuos o grupos de sismómetros para ayudar a distinguir y caracterizar los diferentes tipos de terremotos u otras vibraciones en la tierra.

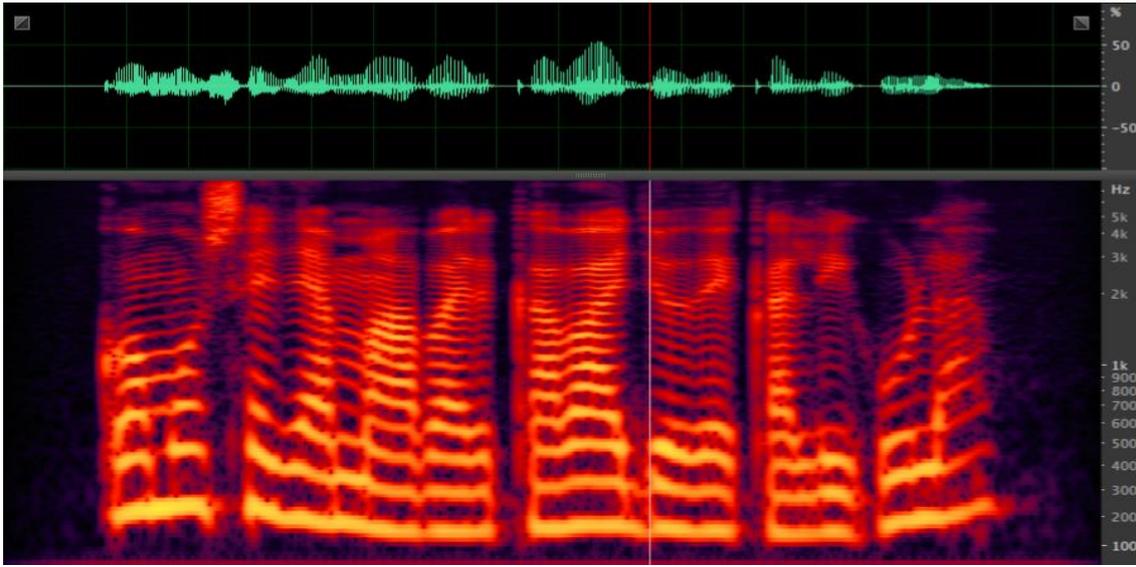


Figura 24. Espectrograma (representación)
Fuente: (Instituto , 2017)

En este contexto, un espectrograma es un medio para ver el contenido de frecuencia de un sismograma a medida que cambia con el tiempo. Una vez por minuto, se calcula el espectro de frecuencia del sismograma entre 0 y 10 Hz; los valores de amplitud espectral se convierten a color con azules profundos que representan valores bajos, que van desde verdes y amarillos hasta rojo intenso para los valores altos. Cada minuto se muestra, así como una línea de color horizontal que representa, por su color cambiante, las diferencias en la intensidad de vibración a diferentes frecuencias de 0 a 10 Hz. Al trazar estas líneas horizontales adyacentes entre sí a medida que se calculan, se puede visualizar una secuencia de tiempo del espectro de frecuencia (Nava, 2015).

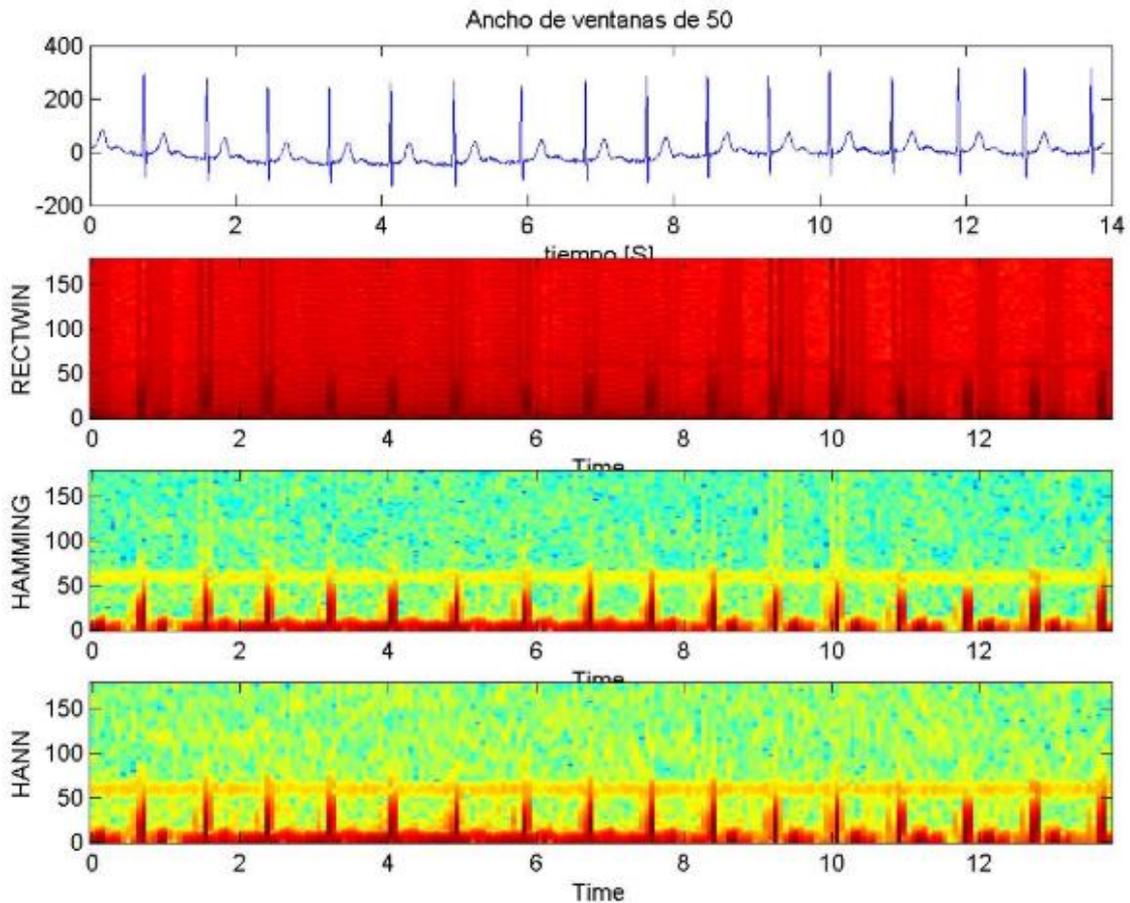


Figura 25. Representación de espectrograma
Fuente: (Instituto , 2017)

2.7. Técnica de prospección Georadar

Esta técnica nos permite de forma indirecta, averiguar la forma estructural del subsuelo a través de la transmisión de pulsos electromagnéticos y de la captura de los mismos dados por la reflexión o la discontinuidad que se presenta en el subsuelo.

Un equipo Georadar está conformado por una unidad de procesamiento de datos, una unidad que almacena los datos y un monitor en el cual se puede visualizar los datos procesados; este equipo tiene una técnica de transmisión de pulsos electromagnéticos, cuya duración es de 1 a 4 nanosegundos, con un rango de frecuencias que van desde los 100 a los 200 GHz.

Se obtiene que la duración de la señal al ser recibida depende proporcionalmente a la profundidad y discontinuidad del objeto a medir. Para realiza la captura de datos se usan filtros, los cuales se encargan de eliminar señales de fondo, ruidos no deseados y frecuencias fuera de rango; estos datos son almacenados para perfiles de radargrama.

Como resultado tenemos que la progresión de un Georadar va a depender de la frecuencia de trabajo que puede ser de dos a cinco metros y usar una frecuencia de 400 hasta los 500 MHz. (Goodman, 2012)

2.8. Características de los Georadares

Por su arquitectura un Georadar es un trasmisor de señal RF, con un acoplamiento de antenas Biestáticas o Monoestáticas, para nuestro estudio nos enfocaremos en los modelos de Georadar con acoplamiento de antenas biestáticas las cuales una será la encargada de emitir la señal y otra receptor la señal de retorno, este es el modelo con mayor acogida para los estudios de geología y análisis del suelo dado a su conformación en la cual las antenas van alineadas para una óptima envío y captación de la señales.

Un Georadar con acoplamiento de antenas monoestáticas se caracteriza por el uso de una sola antena la cual se encarga de emitir y recibir la señal entre intervalos de tiempo generador por un reloj interno síncrono en este caso la antena realiza una doble función la cual necesita una sincronización mucho más precisa.

También existe un modelo el cual se denomina Trans-Iluminación, el cual consta de usar dos antenas una emisora y otra receptora de modo separado una enfrente de otra dejando al objetivo en el centro para ser estudiado, esta es usada para a análisis de paredes

o acueductos y desea forma determinar lo que existe entre ambas antenas, en este caso las antenas pueden permanecer estáticas en un punto fijo o desplazarse de manera simétrica para no captar valores errados.

2.8.1. Características para tomar en cuenta:

Los GPR presentan altas tasas de emisión, de entre 25000 y 50000 pulsos por segundo, esto debido a que necesitan suficientes datos para poder generar las trazas con una buena calidad, y de esta forma poder determinar los cambios en la constitución del suelo.

La profundidad de penetración está determinada por la potencia del pulso emitido, a mayor potencia esta puede fácil mente traspasar paredes u objetos obteniendo una mayor fidelidad, alcance de la señal, al aumentar las potencia también puede ser peligroso en el caso de nuestro estudio ya que al emitir altos niveles de potencia de una señal podemos ocasionar problemas en cuanto a la salud, altos niveles de radiación de señales de RF pueden ocasionar células cancerosas, teniendo eso en cuenta debemos determinar valores mínimos recomendados salvaguardando la salud de las personas en la experimentación.

Para nuestro modelo usaremos dos antenas tipo plano direccional de 4.9 GHz a 5.8 GHz (4750-5850MHz). El diseño de la banda ancha para esta antena nos permite eliminar la necesidad de comprar diferentes antenas varias frecuencias, puede trabajar tanto en interiores como exteriores presenta una protección contra rayos UV, su conector es tipo N-hembra.

2.8.2. Se plantean las siguientes mejoras

Uso de arrays (arreglos) de antenas con las cuales se lograría obtener el movimiento humano, dirigiendo el haz y captando la energía máxima en cada punto, se puede realizar

varios arreglos o combinaciones de arreglos en los cuales destacan:

- Arreglo 1 emisor varios receptores
- Arreglo varios emisores 1 receptor.
- Arreglo varios emisores y receptores

En todos estos casos para el arreglo debe de tener en cuenta que al final se obtendrá una señal combinada de varias antenas las cuales deben de estar correlacionadas entre sí, su muestreo debe de ser el mismo y las características de las antenas idénticas dado a que una variación en una de las antenas del arreglo puede perjudicar en los resultados.

2.9. Arreglo de antenas

2.9.1. Arreglo de Antenas Planas (Array Agrupaciones Planas)

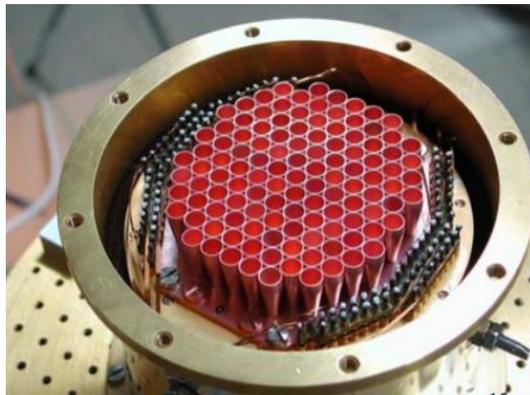


Figura 26. Agrupación de bocinas cónicas en una retícula plana triangular

Fuente: http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/antenas/Curso0809/A0801_Introducci%C3%B3n%20arrays-color.pdf



Figura 27. Antena adaptativa para un sistema radar a bordo de un avión

Fuente: http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/antenas/Curso0809/A0801_Introducci%C3%B3n%20arrays-color.pdf

2.9.2. Arreglo De Antenas Cilíndricas (Array Agrupaciones Cilíndricas)



Figura 28. Array cilíndrico de bocinas rectangulares

Fuente: http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/antenas/Curso0809/A0801_Introducci%C3%B3n%20arrays-color.pdf

- Uso de amplificadores de potencia para un mayor alcance.

Disminución de pérdidas de potencia con respecto a conectores, conectores de mala calidad o una mala fabricación de los mismo nos pueden dar como resultado perdidas por conexión, las pérdidas por conexión pueden desestabilizar la señal o añadir señales no deseadas a nuestras pruebas, se recomiendan conectores con un porcentaje de cobre u oro ya que son los mejores conductores, del mismo modo el recubrimiento de los cables debe de evitar las interferencias por inducción ya que estas misma también pueden incurrir en valores incorrectos en nuestras mediciones.

Modificación de filtrado, para nuestro proyecto el primer filtro que se uso es el filtro pasa alto el cual delimita las frecuencias a obtener en las que superen el umbral deseado, también se puede optar por un filtro pasa banda el cual se encargaría de centrarnos en un rango de frecuencia determinada para obtener mediciones más limitadas o un filtro pasa bajo el cual nos delimitaría para trabajar bajo el cual a solo dejarnos ver señales inferiores a la establecida nos permitirá estudiar el comportamiento de las bajas

frecuencia y su interacción con el entorno.

Analizar u obtener datos específicos sobre la constante dieléctrica del suelo o escombros, de ese modo se puede modificar los parámetros y así obtener mejores resultados en el análisis, tanto para tomas iniciales como capturas posteriores en un mismo sitio

Target	Material	Size (m)	Electrical parameters
wall	concrete	0.2 (wall thickness)	$\epsilon_r = 4.5$, $\sigma = 0.01$ S/m
human	70% water	0.2×1.65 (body radius×height)	$\epsilon_r = 50$, $\sigma = 1$ S/m
desk	PEC	1.5×0.75×0.75 (length×width×height)	$\sigma = \infty$
chair	PEC	0.4×0.4×0.95 (length×width×height)	$\sigma = \infty$

Figura 29. Parámetros de conductividad eléctrica

Fuente: <https://www.semanticscholar.org/paper/Through-Wall-Imaging-of-Moving-Targets-Using-UWB-Wang-Narayanan/12511c2b67a999e7dd785c2eb373578ab37ce604>

Material	Permitividad relativa ϵ	Velocidad de propagación v (m ns ⁻¹)	Conductividad σ (mS m ⁻¹)	Coefficiente de atenuación $\beta\sigma$ (dB m ⁻¹)
Aire	1	0.3	0	0
Agua salada	80	0.033	3000	600
Agua dulce	80	0.033	0.5	0.1
Granito seco	5	0.13	0.01	0.01
Arena seca	5	0.13	0.01	0.01
Arcilla húmeda	10	0.095	500	300
Suelo:				
Arenoso seco	2.6	0.19	1.4	1
Arenoso húmedo	25	0.06	69	23
Arcilloso seco	2.5	0.19	2.7	3
Arcilloso húmedo	19	0.07	500	200
Congelado	6	0.12	0.1	0.1
Caliza lacustre	50	0.04	-	-
Estrato cultural bajo agua	70	0.04	-	-

Figura 30. El Método de Georada -- Néstor Bonomo y Matías de la Vega

Fuente: <https://www.semanticscholar.org/paper/Through-Wall-Imaging-of-Moving-Targets-Using-UWB-Wang-Narayanan/12511c2b67a999e7dd785c2eb373578ab37ce604>

Material	Constante dieléctrica $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$	Conductividad (S/m) σ	Velocidad (m/ns)	Atenuación (dB/m) α
Aire	1	0	0.3	0
Agua destilada	80	0.01	0.033	0.002
Agua natural	80	0.5	0.033	0.1
Agua del mar	80	30,000	0.01	1,000
Arena seca	3-5	0.01	0.15	0.01
Agua mojada	20-30	0.1-1.0	0.06	0.03-0.3
Tierra caliza	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1
Pizarra	5-15	1-100	0.09	1-100
Cieno	5-30	1-100	0.07	1-100
Arcilla	4-40	2-1,000	0.06	1-300
Granito	4-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Sal (seca)	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Hielo	3-4	0.01	0.16	0.01

Figura 31. Aplicación del radar de penetración en tierra (Georadar) a la exploración no destructiva de yacimientos Arqueológicos

Fuente: <https://www.semanticscholar.org/paper/Through-Wall-Imaging-of-Moving-Targets-Using-UWB-Wang-Narayanan/12511c2b67a999e7dd785c2eb373578ab37ce604>

- La polaridad entre antenas debe de ser la misma, así como su ángulo de disparo.

Ya sea una polarización de forma horizontal, vertical o circular se debe de tomar en cuenta que ambas antenas trabajen bajo las condiciones similares, ya que al cambiar su polaridad si campo eléctrico como magnético cambian en el plano cartesiano este puede dar como resultado valores incorrectos o no mostrar ningún resultado, también se debe de tener en cuenta el ángulo de radiación dado al uso de antenas biestáticas separada entre si deben de tener un mínimo de ángulo de encuentro para poder detectar con calidad la señal de rebote.

- Al usarse en modo de desplazamiento ya sea horizontal o vertical tomar en cuenta la velocidad de desplazamiento una velocidad alta inducirá a datos erróneos

El movimiento debe de realizarse de manera constante entre ambas antenas, y de manera lenta de esta forma no existirá datos incompletos, o incorrectos. Si se usa el modelo de

antena biestáticas montada sobre un pedestal vertical y giro horizontal este debe de ser controlado de tal manera que la base no se desplace del sitio, solo las antenas puedan rotar con liberta para la captura de los datos. Si se realiza mediciones por medio del método de transiluminación este debe ser en posición estática de las antenas dado a que se encuentran separadas por el objeto a medir, en caso del objeto ser de gran magnitud o se desea realizar un barrido estas antenas deben de ir realizando pruebas por cuadros separadas a distancias simétricas, y captura de cuadros separados para luego su interpretación.

- Integrar al modelo parámetros y visualización con tecnología GPS la cual aumentaría su eficiencia. Al integrar el módulo GPS se lograría la identificación de objetos bajo coordenadas, para esto se debe de realizar barridos tanto para el azimut como la elevación, entrando en parámetros de visualización graficadas en modelos 3D o por medio de graficas de relieve las cuales darían un mejor entendimiento de lo que se está observando y una mejor fiabilidad al momento de detectar un objeto y reducir los falsos positivos.

- El uso de antenas es un papel importante ya que ellas son las encargadas de emitir y recibir la señal. Para este prototipo se está usando una antena tipo plano de 5.8GHz a 23DBi, la cual es de tipo direccional usada para enlace de redes bajo protocolo 802.11, también se realizaron pruebas con un modelo de antena del tipo cilíndrica de 2.2-2.6 GHz con 10Dbi, también se recomienda realizar pruebas con antena de tipo satelital con reflector de grilla.

- Tomar en cuenta que una antena debe de tener parámetro constante en toda la operación, ser de modo directivo mas no disperso, sin recibir defectos del entorno se suele usar apantallamientos o blindajes para reducir dichos efectos.

- Uso de equipos más potentes y con mejores características en ámbito de experimentación en laboratorios como los PXI

Otra recomendación es el uso de equipos como el PXI y varios módulos RF de la marca National Instrument los cuales presentan características más robustas, así como un rango más amplio de frecuencias que usar.

2.10.Filtros

Los filtros se pueden definir como un elemento que modifica la forma natural de una señal cualquiera, esto se realiza mediante un algoritmo matemático, tras convertirla señal de analógica a digital, cambiando sus componentes matemáticos, índice de muestreo en otro sin valores no deseados. (Gómez Gutiérrez, 2009, pág. 2).

Los filtros son muy utilizados en diversos ámbitos del procesado de señal, como el análisis de armónicos musicales, forma de ondas, vibraciones, señales sonoras o de luz. En el caso de señales de audio un filtro puede determinarse como aquel que modifica el espectro o la señal vista frecuencialmente.

2.10.1. Teoría de filtros

Esta teoría propone un componente matemático un poco complejo, lo cual provoca que un alejamiento de la experiencia humana; según (Gómez Gutiérrez, 2009) la ecuación de un filtro, no se relaciona con las cualidades sonoras del mismo, y más bien son descritos a través de una herramienta matemática llamada transformada z ; la cual hace una relación de los efectos de retardo de muestra, sobre una representación gráfica de dos dimensiones de representación frecuencial ($H(f)$) denominada plano complejo z .

En este plano complejo z , los polos simbolizan los puntos o picos de resonancia que dan origen a la respuesta frecuencial, volviendo a ésta, infinita. En cambio, los ceros (0) son los puntos de amplitud nula de la respuesta frecuencial.

Esta herramienta transformada z , es uno de los conceptos esenciales para diseñar filtros, porque proporcionan matemáticamente una relación entre las características del filtro que se desea diseñar y aquellos parámetros para la implementación de ellos. Sin embargo, lo complejo del cálculo matemático de esta transformada z “sólo está indirectamente relacionada con los parámetros que tienen significación perceptual” (Gómez Gutiérrez, 2009, pág. 3).

2.10.2. Tipos de filtros

Se conocen varios tipos de filtros, los más esenciales son Paso Bajo o Low Pass (LP), Paso Alto o High Pass (HP), Paso de Banda o Band Pass (BP), también existen filtros de índice digital tipo FIR y tipo IIR (Gómez Gutiérrez, 2009).

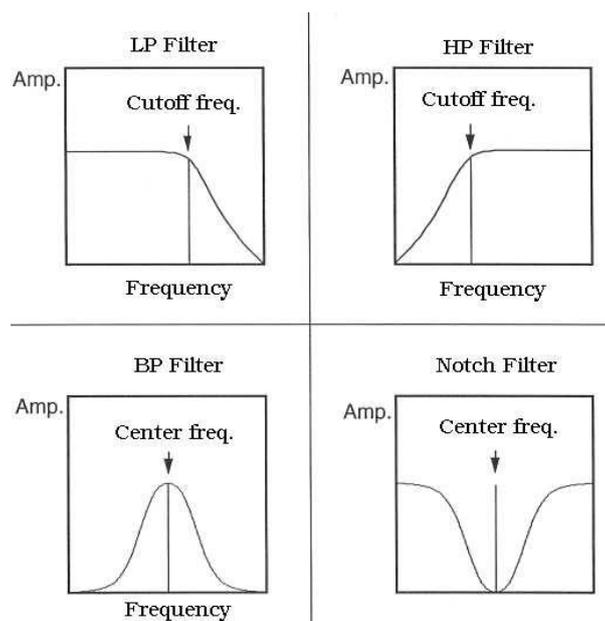


Figura 32. Representación gráfica de los tipos de filtros
Fuente: (Gómez Gutiérrez, 2009, pág. 3)

- El filtro Paso Bajo (LP) se encarga de dar el pase a las frecuencias que estén por debajo de la frecuencia de corte determinada.
- El filtro Paso Alto (HP) se encarga de dar el paso que vayan más allá de la frecuencia de corte determinada. (Gómez Gutiérrez, 2009)

“Estos dos tipos de filtros están definidos por su frecuencia de corte, que es la frecuencia a la cual la amplitud de la señal se reduce a $0.707 \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$ de su valor máximo, es decir, sufre 3 dB de atenuación” (Gómez Gutiérrez, 2009, pág. 4).

2.10.3. Filtros FIR

Se lo conoce como filtro de respuesta simple al impulso infinito FIR. Este se demuestra matemáticamente con la siguiente relación:

$$y[n] = a_0 \cdot x[n] + a_1 \cdot x[n - 1] + a_2 \cdot x[n - 2] + \dots + a_N \cdot x[n - N]$$

La ecuación demuestra la actual salida $y(n)$, es la suma de las muestras de la entrada $x(n)$, esta multiplica el factor a_0 y la muestra anterior $x(n-1)$, multiplican al factor a_1 . Se entiende que el factor a_i , es el coeficiente del filtro. Al modificar este coeficiente, se puede modificar las características del filtro, así como se serie de coeficientes cambiando la respuesta impulsional del filtro.

2.10.4. Filtro paso alto FIR de primer orden

El filtro paso alto FIR, posee una estructura elemental al filtro paso bajo FIR, estos están retrasados por su muestra:

$$y[n] = 0,5 \cdot x[n] - 0,5 \cdot x[n - 1]$$

El efecto paso alto se explica fácilmente: al restar dos muestras sucesivas atenúamos la señal en los puntos en los que varía lentamente (bajas frecuencias) y acentuamos allí donde la señal varía rápidamente (altas frecuencias). La ganancia en función de la frecuencia viene dada por:

$$A(f) = \sin \frac{\pi \cdot f}{f_s}$$

2.11. Modulación y Demodulación AM (Amplitud Modulada)

Históricamente la modulación más utilizada y la primera en uso es la Modulación de Amplitud (AM), porque puede ser utilizada con moduladores y demoduladores simples. Pero también posee varias desventajas como el mal desempeño ante la presencia de ruido volviéndola muy susceptible a este. Otra desventaja es que se necesita gran cantidad de potencia para ser transmitida y recibir así buena calidad de señal.

Esta señal AM, es generada al utilizar la amplitud instantánea de la información, es decir, se puede variar la amplitud máxima de una señal con otra amplitud de otra señal superior a esta; esto genera un envolvente en forma de onda, la cual presenta la información de ambas señales, siendo la mayor amplitud como la portadora. (Valencia Z., 2010).



Figura 33. Señal Moduladora.
Fuente: (Valencia Z., 2010, pág. 26)

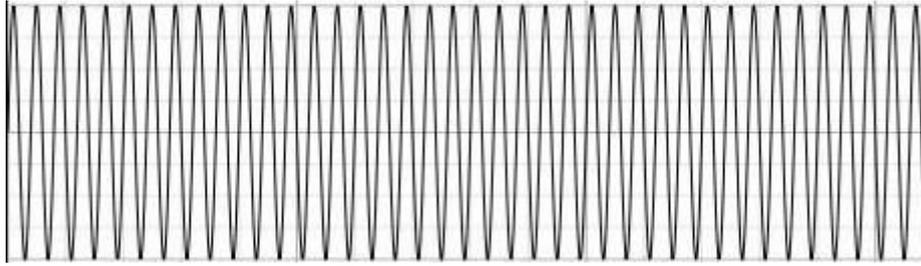


Figura 34. Señal Portadora
Fuente: (Valencia Z., 2010, pág. 26)

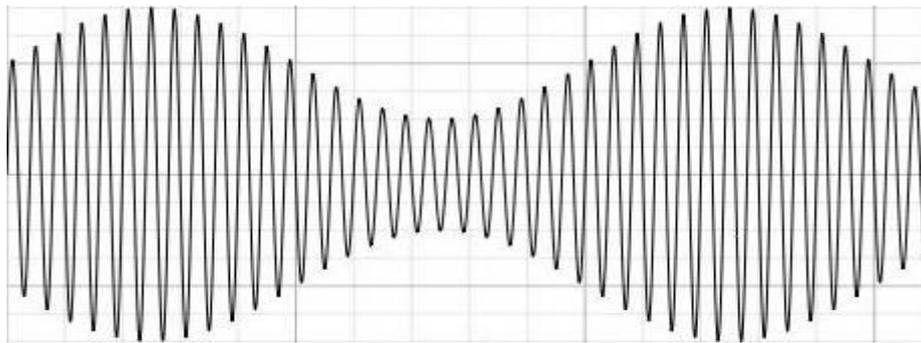


Figura 35. Señal Modulada.
Fuente: (Valencia Z., 2010, pág. 26)

Al ver las figuras anteriores podemos ver la estructura separada de una señal AM, que al juntarse generan una señal modulada, la cual se encarga de enviar información. (Valencia Z., 2010)

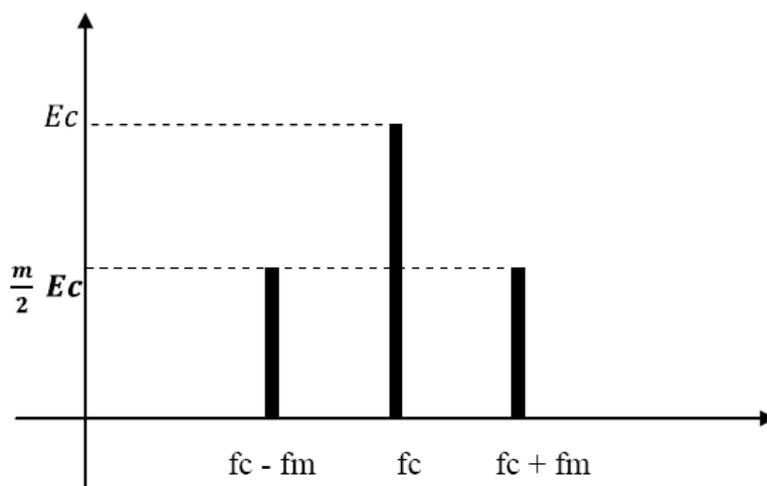


Figura 36. Señal AM en el dominio de la frecuencia.
Fuente: (Valencia Z., 2010, pág. 33)

2.12. AM CON BANDA LATERAL ÚNICA (SSB)

Para transmitir información, cada banda lateral debe ser idéntica, es decir, iguales la una de la otra, ya que estas tienen como finalidad, transportar la información. Esto se puede realizar de mejor manera, suprimiendo una banda lateral, esto reduce el ancho de banda, dejando una banda lateral única, la cual optimiza el ancho de banda en la modulación dada.

Al usar un sintonizador preciso y complejo, este puede sintonizar de manera más precisa los valores determinados a transmitir.

AM DSB

$$B=2f_{m(max)}$$

$$B = 2 * 3 \text{ KHz}$$

$$B = 6 \text{ KHz}$$

AM SSB

$$B=f_{m(max)} - f_{m(min)}$$

$$B = 3 \text{ KHz} - 0,3 \text{ KHz}$$

$$B = 2,7 \text{ KHz}$$

2.12.1. Métodos de generación de banda lateral única

Al observar la siguiente ecuación, nos damos cuenta de que existen bandas laterales y al usar un filtro pasa alto y pasa bajo, podemos eliminar una de las dos bandas.

$$v(t) = \frac{E_c E_m}{2} \cos(\omega_c + \omega_m) t + \frac{E_c E_m}{2} \cos(\omega_c - \omega_m) t$$

Aplicando un filtro podemos observar la banda lateral superior

$$\frac{E_c E_m}{2} \cos(\omega_c + \omega_m) t$$

O la banda lateral inferior

$$\frac{E_c E_m}{2} \cos(\omega_c - \omega_m) t$$

En el dominio de la frecuencia será de manera similar al generado en la modulación AM doble banda lateral y se tomará una de las dos bandas.

$$\frac{E_c E_m}{2} [\delta(f - f_c - f_m) + \delta(f + f_c + f_m)] \quad \text{Banda lateral superior}$$

$$\frac{E_c E_m}{2} [\delta(f - f_c + f_m) + \delta(f + f_c - f_m)] \quad \text{Banda lateral inferior}$$

2.13. Modulación en amplitud banda lateral única (AM-SSB)

La formulación de la señal modulada en AM doble banda lateral, podemos observar que:

$$v(t) = \frac{E_c E_m}{2} \cos(\omega_c + \omega_m) t + \frac{E_c E_m}{2} \cos(\omega_c - \omega_m) t$$

Se aplica un filtro y observamos la banda lateral superior

$$\frac{E_c E_m}{2} \cos(\omega_c + \omega_m) t$$

O la banda lateral inferior

$$\frac{E_c E_m}{2} \cos(\omega_c - \omega_m) t$$

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación, se desarrolló con base a un tipo de estudio exploratorio considerando que según lo expuesto por Facal (2015), la modalidad exploratoria busca la visión general o amplia de una realidad determinada, misma que se singulariza por el carácter preparatorio que posee.

En este contexto, se trabajó con una investigación exploratoria considerando que el tema de estudio ha sido poco analizado a nivel local y por lo tanto, fue necesario indagar aspectos relacionados que proporcionen una visión general a través del análisis teórico de diversos artículos científicos y proyectos de tesis, mediante los cuales se obtuvieron los lineamientos para llevar a cabo un ensayo a profundidad, mediante el cual se logró diseñar el prototipo de Georadar (GPR), para análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO.

Además de ser exploratoria, también es experimental, porque según (Marcano, 2018) “se influye activamente en algo para observar sus consecuencias” (pág. 4) se trabaja experimentando en el laboratorio de la carrera de ésta Universidad, en la realización de pruebas de funcionamiento, cambios de frecuencias, modificación de señal, verificación de resultados, calibración de antenas y configuración del equipo. También es de carácter descriptiva porque se realiza la descripción de hechos encontrados a través del estudio de las variables de la investigación. (Universia Costa Rica, 2017)

3.2. Diseño de investigación

En lo que respecta al diseño de investigación, se aplica un tipo de estudio experimental, el cual de acuerdo a Arias (2013), este permite la manipulación de un objeto o a un grupo de personas para someterlos a diferentes condiciones y estímulos para realizar la observación de los resultados.

El presente estudio está basado en parámetros identificados en artículos científicos con temática similar, dicho estudio se basó en la programación de bloques gráficos, mismos que podrían variar posteriormente agregando nuevos segmentos o bloques y añadir mayores funciones al proyecto, la cual se irá verificando en las pruebas realizadas.

3.3. Enfoque de la investigación

Con base al diseño del presente estudio, se aplicó un enfoque mixto de investigación considerando que además de la revisión teórica realizada a partir de diferentes fuentes secundarias, tales como: libros, tesis relacionadas, artículos científicos, y otras publicaciones a partir de las cuales se realizó el respectivo análisis cualitativo; se realizó un estudio experimental, a partir del cual se obtuvieron datos cuantitativos, mismos que fueron analizados para establecer un diseño que se adapte a las necesidades reales y contribuya a solucionar el problema encontrado. (Cadena Iñiguez, 2017)

3.4. Método de investigación

En cuanto al método de investigación, se trabajó con un método inductivo, el cual de acuerdo con Rodríguez (2013), este método busca la inducción del pensamiento a través de la generación de ideas particulares que en conjunto forman una generalidad del pensamiento, otorgando la posibilidad de obtener conclusiones relacionadas al estudio.

En este caso, a partir de configuraciones y pruebas realizadas y el análisis de los resultados obtenidos se logró establecer conclusiones generales para diseñar un prototipo de Georadar que contribuya a solucionar el problema encontrado. Así mismo, se trabajó con un método de estudio longitudinal, considerando que dichas pruebas se realizaron durante un período establecido de tiempo, en el que se realizaron las respectivas mediciones.

3.5. Instrumentos de investigación

Para el presente trabajo investigativo se utilizaron materiales e instrumentos como los mencionados a continuación:

- USRP RIO 2943: se utiliza este equipo, porque presenta mejores características en cuanto a rango de frecuencia, ancho de banda, cantidad de antenas que el tradicional USRP 2920.
- Antenas tipo Plato de 5.15-5.875 GHz: seleccionadas por su direccionabilidad, la compatibilidad con el rango de frecuencias del USRP RIO 2943, su fácil transportación.
- Cable coaxial RG-581: este cable es compatible con el conector tipo N seleccionado.
- Conectores tipo N: el USRP RIO, presenta dichos conectores como sockets principales, del mismo modo, las antenas, también presentan los mismos

conectores base.

- Trípode: base estable para pruebas estacionarias del proyecto.
- Cable MXI express X4: permite la conexión entre el USRP RIO y la tarjeta PXI instalada en la computadora seleccionada.
- Computador (Core I3, RAM 4 Gb) con tarjeta PXI express: seleccionada por presentar mejores características de funcionamiento, en comparación a los requerimientos mínimos, para la instalación y funcionalidad del software.
- Software LabView 2015 (32bits): usado por presentar mejor estabilidad, en comparación con otras versiones del mismo, versiones de 64bits no son compatibles con los Toolkits a utilizarse.

PROPUESTA

4.1. Título de la propuesta

Diseño e implementación de un prototipo Georadar (GPR), para análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO.

4.2. Justificación

La presente propuesta de trabajo obedece a la búsqueda de una solución a la problemática, decir, la carencia de instrumentos de ayuda en la búsqueda y rescate de personas, como un sistema de Georadar (GPR), para análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO; mismo que se utilizaría en eventos catastróficos como el ocurrido el pasado 16 de abril del 2016; donde ocurrió un evento sísmico de magnitud 7.8 grados en la escala Richter, el cual provocó la muerte de centenares de personas y decenas de desaparecidos.

Este prototipo puede ser de valiosa utilidad para los rescatistas de personas atrapadas en los escombros, debido que el dispositivo detecta variaciones en una señal modulada en frecuencia de 5.8 GHz (frecuencia de la antena tipo plato), esta señal es procesada, normalizada y escalada, para pasar por un remuestreo de sus valores medidos, se realiza 2 tipos de filtrado, uno siendo el pasa alto para luego ser analizado por un filtro variable en el tiempo y luego ser mostrado por dos espectrogramas, uno con respecto al tiempo de medición (sumatoria de resultados segundo a segundo) y el otro de señal individual(señal de representación unitaria por cada pulso capturado), mostrando de forma secuencial un conjunto de señales, estas muestran variaciones las cuales son interpretadas dando de esa manera resultados en cuanto a lo propuesto.

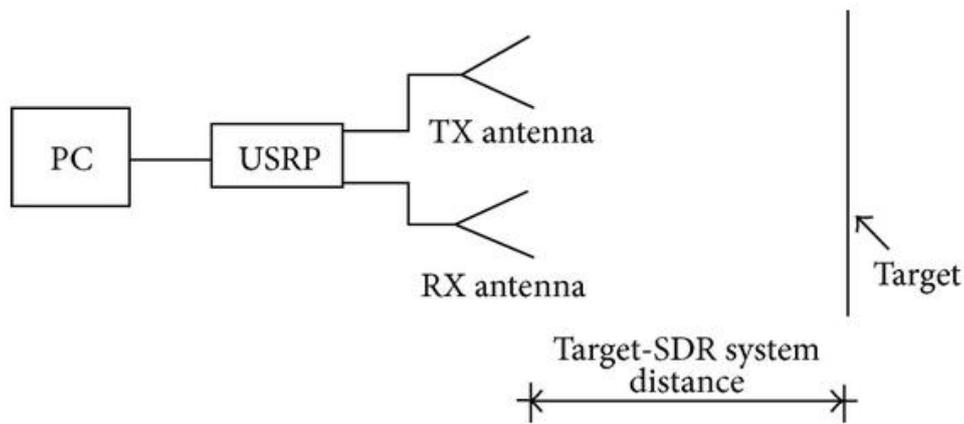


Figura 37. Esquema del sistema básico para pruebas al aire libre.
Fuente: Los autores.

4.3. Descripción de la propuesta

El presente proyecto se basa en el diseño de un prototipo de Georadar (GPR), para análisis de subsuelo en búsqueda de personas vivas con SDR URSP RIO.

4.3.1. Materiales:

Para la ejecución de las pruebas de campo, se utilizó el equipo USRP rio 2943 de *Labview*, el cual posee un ancho de banda entre los 1.2 – 6Ghz; así mismo, se utilizó una computadora con adaptador PXI especial para establecer conexión entre el ordenador y los quipos; así mismo, como ente transmisor, se utilizaron tres juegos de antenas diferentes:

- Antena tipo path de 400MHz-1Ghz;
- Antenas de 10DBi dipolo;
- Antenas tipo path de 5.2-5.8Ghz.

Posteriormente, se realizaron pruebas con antenas tipo Horn de 2,4 - 8 GHz. En otro apartado, se trabajó con el software *Labview* 2016 de 32bits, junto con varios *toolkits*;

Signal advance procesisng, Usrp, Rf communication, sound and vibration Toolkit de la familia de software de Labview.

- USRP RIO 2943
- Antenas tipo Path Flat de 5.15-5.875GHz
- Cable coaxial RG-581
- Conectores tipo N
- Trípode
- Cable MXI express X4
- Computador (Core I3, RAM 4 Gb) con tarjeta PXI express
- Software Labview 2015 (32bits)



Figura 38. Materiales para el prototipo.
Fuente: Laboratorio de Física. Facultad de Ingeniería UPS.

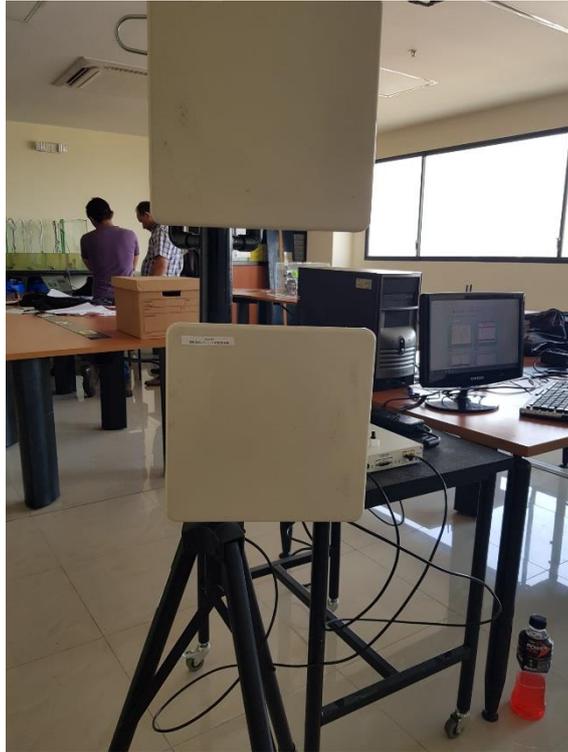


Figura 39. Antenas tipo Path Flat de 5.15-5.875 GHz.
Fuente: Laboratorio de Física. Facultad de Ingeniería UPS.



Figura 40. USRP RIO 2943.
Fuente: Laboratorio de Física. Facultad de Ingeniería UPS.

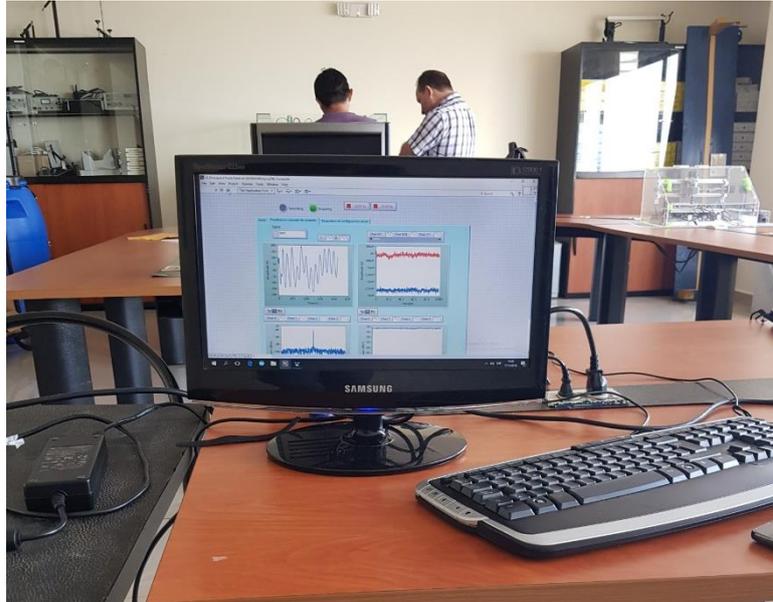


Figura 41. Computador (Core I3, RAM 4 Gb) con Software Labview 2015 (32bits)
Fuente: Laboratorio de Física. Facultad de Ingeniería UPS

4.3.2. Procedimiento de ensamblado

1. Se poncha el Cable coaxial RG-581 con los Conectores tipo N
2. Una vez ponchados los cables, se procede a montar los paneles Path Flat de 5.15-5.875 GHz sobre una base móvil.
3. Se ajusta hasta quedar firmes en la base.
4. Se coloca la base móvil sobre un trípode.



Figura 42. Revisión de materiales antes del ensamblado
Fuente: Laboratorio de Física. Facultad de Ingeniería UPS



Figura 43. Montaje de los paneles sobre una base móvil
Fuente: Laboratorio de Física. Facultad de Ingeniería UPS



Figura 44. Montaje de la base móvil sobre el trípode y conexión de antenas.
Fuente: Laboratorio de Física. Facultad de Ingeniería UPS

5. Se conectan los cables coaxiales al dispositivo USRP RIO 2943



Figura 45. Conexión al dispositivo USRP RIO 2943
Fuente: Laboratorio de Física. Facultad de Ingeniería UPS

6. Del dispositivo USRP RIO 2943 se conecta al computador con un cable PXI express.



Figura 46. Conexión del dispositivo USRP RIO 2943 al computador
Fuente: Laboratorio de Física. Facultad de Ingeniería UPS

7. Realizada las conexiones respectivas, se procede a la configuración del Software Labview 2015 (32bits). Seleccionar la opción Utilities y desplegar submenú.

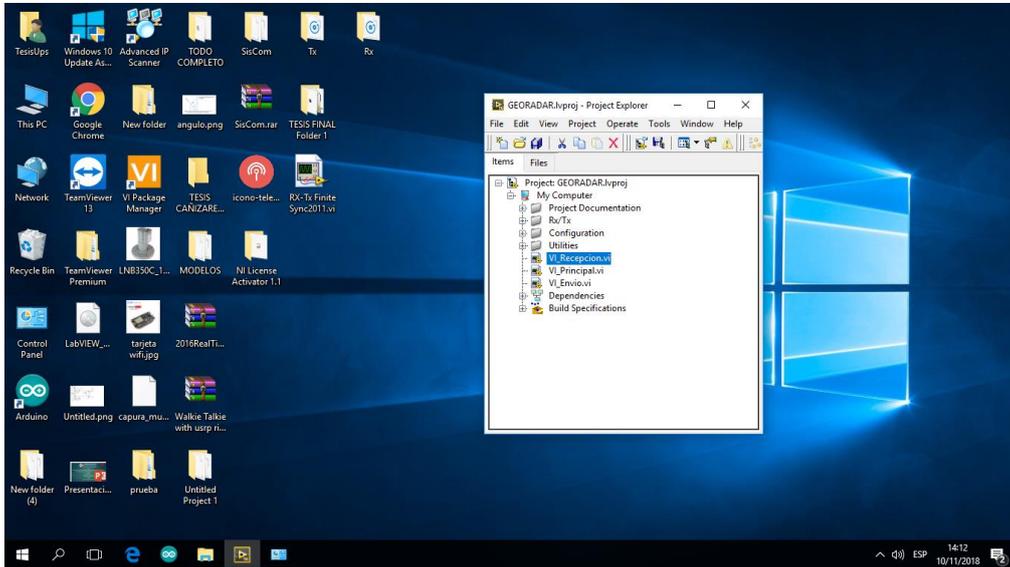


Figura 47. Ingreso al sistema Labview 2015 (32bits)
Fuente: Laboratorio de Física. Facultad de Ingeniería UPS

8. Dentro del submenú, seleccionar la opción principal VI Recepción y se abrirá la pantalla de Inicio, Visualización estándar de conexión y los parámetros de configuración inicial.

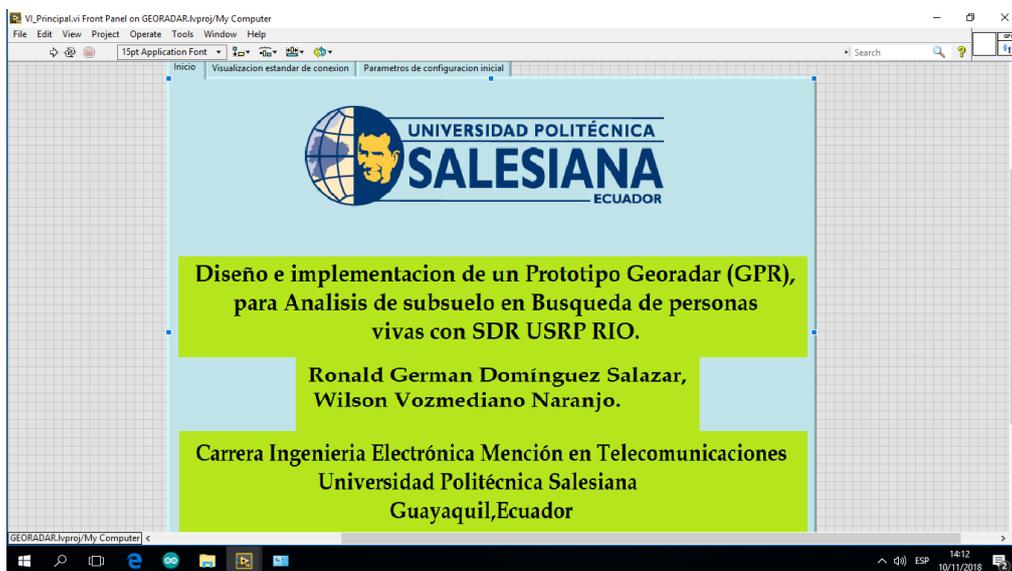


Figura 48. Pantalla de Inicio, Visualización estándar de conexión y los parámetros de configuración inicial.

Representación del conjunto de subVI de configuración para enlace con software y USRP RIO. Cuatro subVI establecen comunicación con el USRP RIO

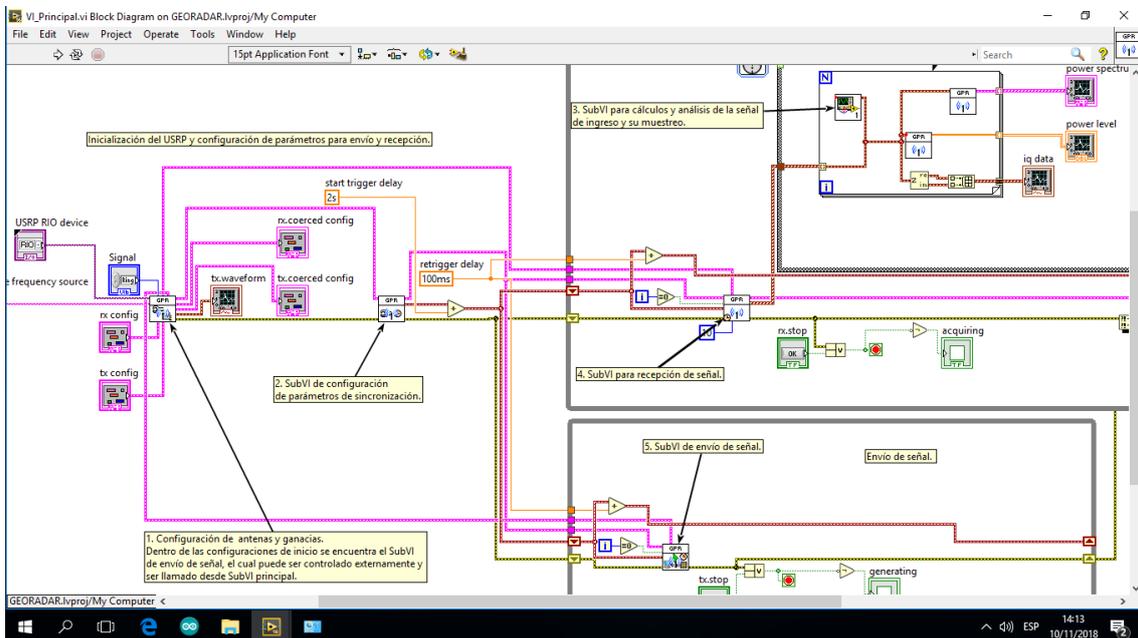


Figura 49. VI Principal configuración general.

Dos bloques de bucle for separan la interacción de emisión y recepción con el USRP

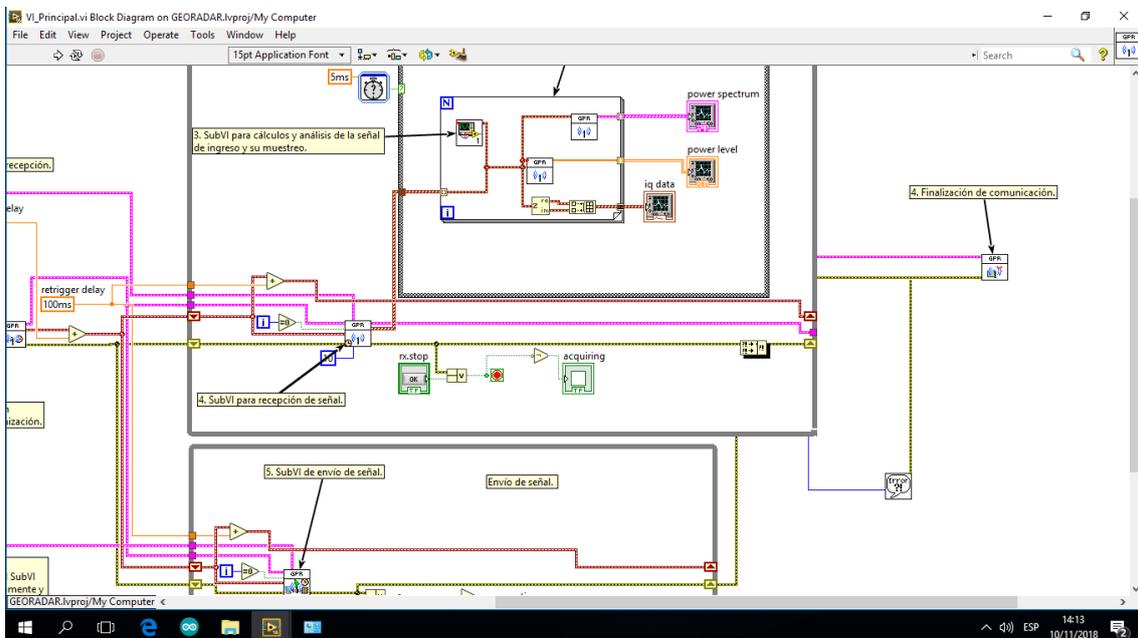


Figura 50. VI Principal configuración general.

Primero se ejecuta el subVI de envío de señal; una vez completada la secuencia, se ejecuta el subVI de recepción de señal, los tiempos de interacción son relativamente cortos, en escala de milisegundos.

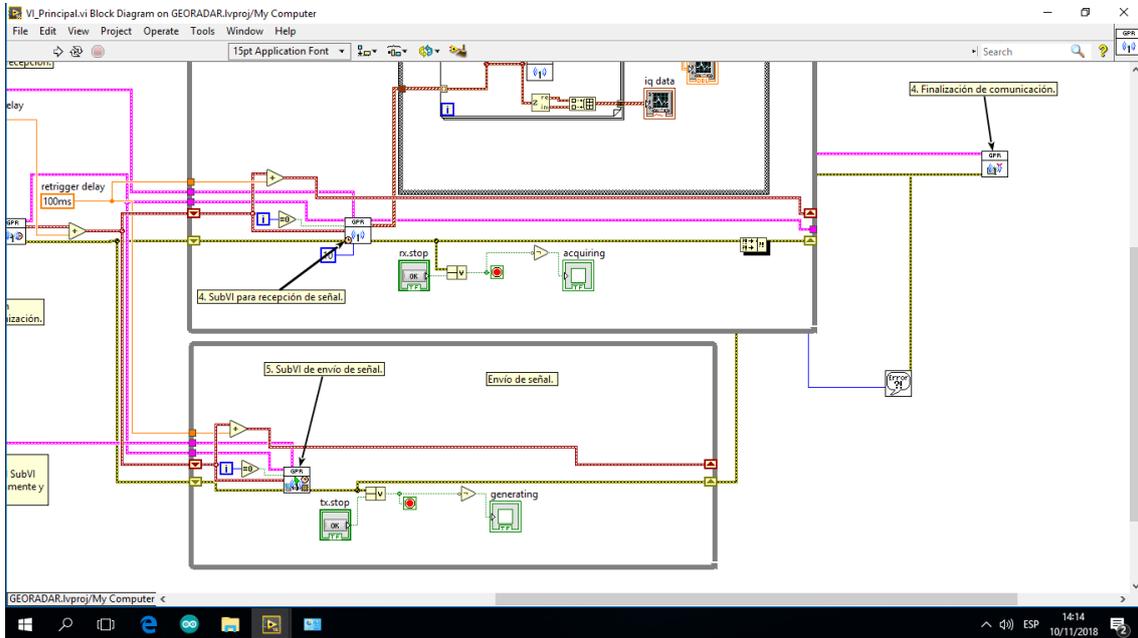


Figura 51. VI Principal configuración general.

Parte gráfica del subVI principal, se muestran la señal enviada y la señal recibida y el espectro en el rango de transmisión y la potencia de la señal.

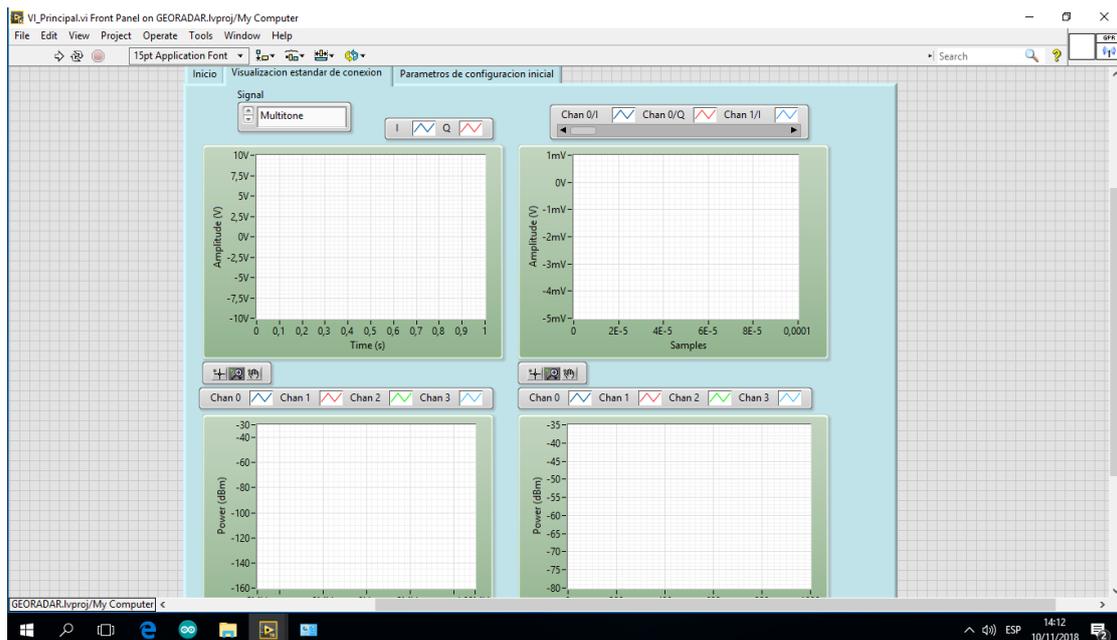


Figura 52. VI Principal de envío y recepción de señal.

Parte gráfica del subVI principal, se muestran valores configurables como frecuencias de las antenas a trabajar, potencias y numero de muestreo, etc.

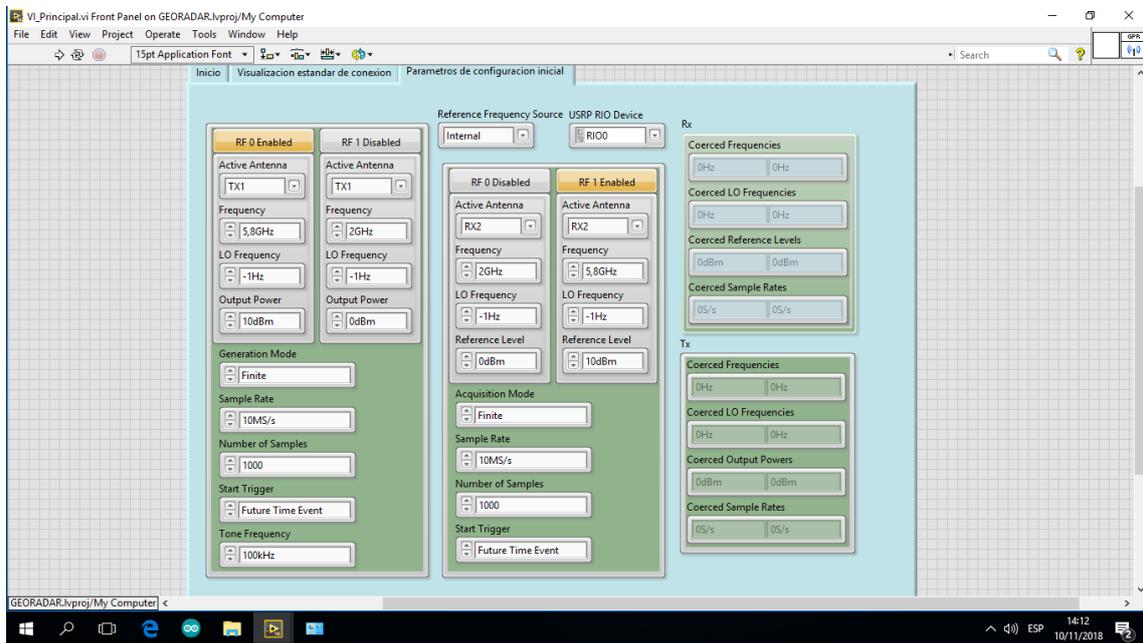


Figura 53. Pantalla principal de la Configuración de la antena.

Representación de la ubicación del subVI de señales a utilizar, insertado bajo varias capas del VI principal.

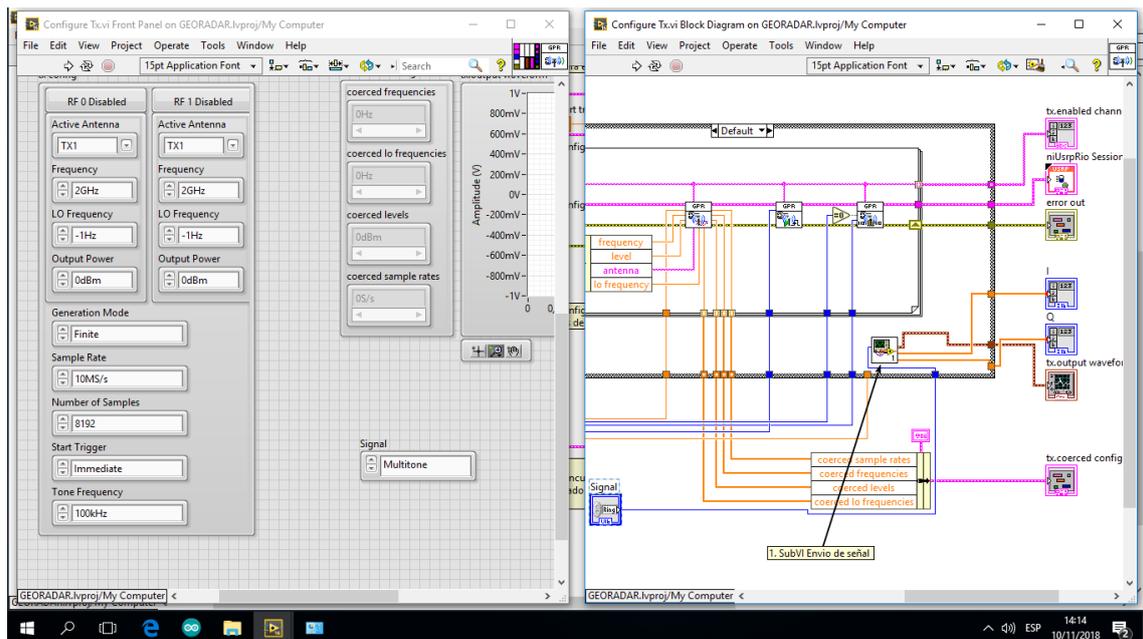


Figura 54. VI Principal configuración general.

9. VI Modulación y configuración de señales a transmitir.

Caratula de los subVI

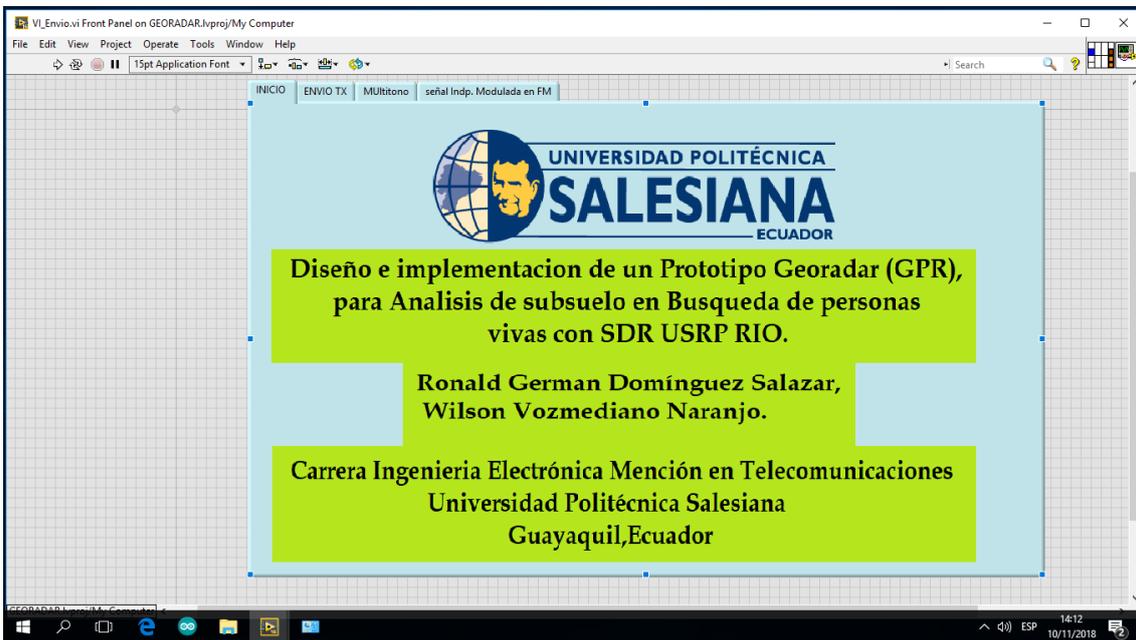


Figura 55. Configuración de envío de señal a transmitir.

10. En el submenú se ingresa al panel principal de visualización de señal a utilizar.

SubVI de modificación de señal, grafica principal, en esta se selecciona los tipos de señal a utilizarse.

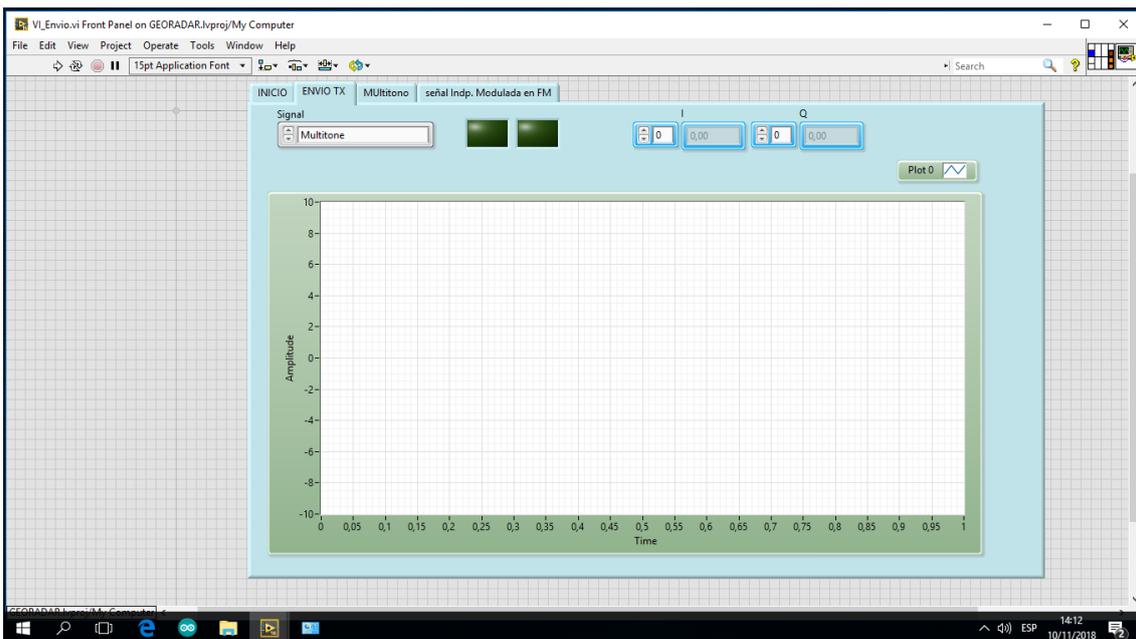


Figura 56. Panel principal de visualización de señal a usar.

Inserción del subVI de señales en el VI principal, con enlace de modificación externa.

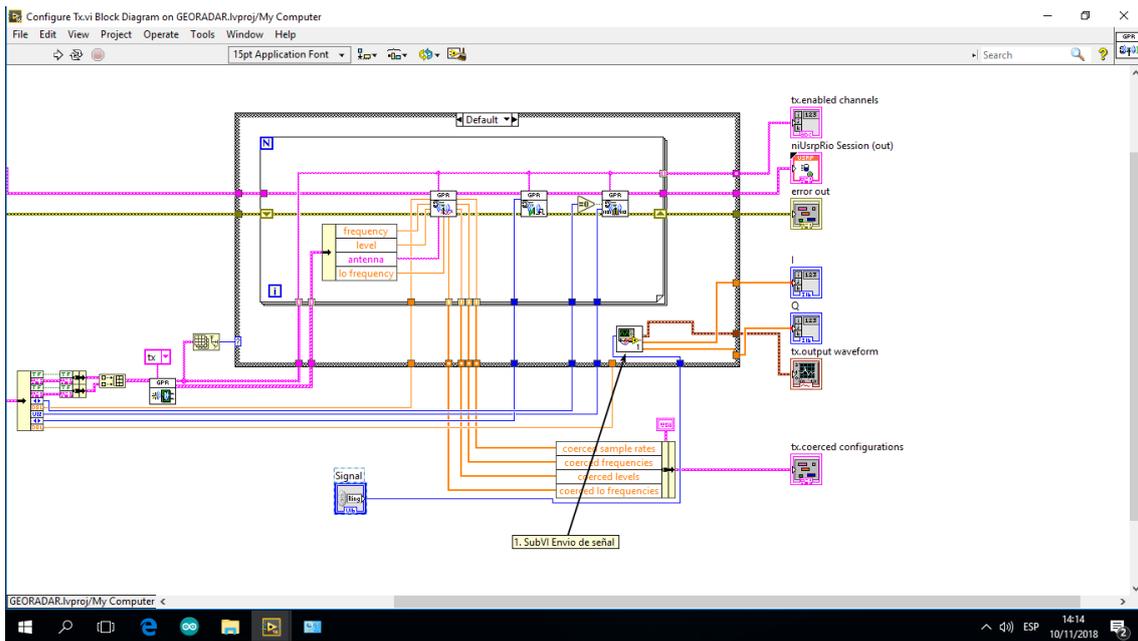


Figura 57. subVI Principal ingreso de señal para enviar.

11. Se configura la Visualización y configuración de señal multitono.

Panel de configuración y graficación de señal multitono.

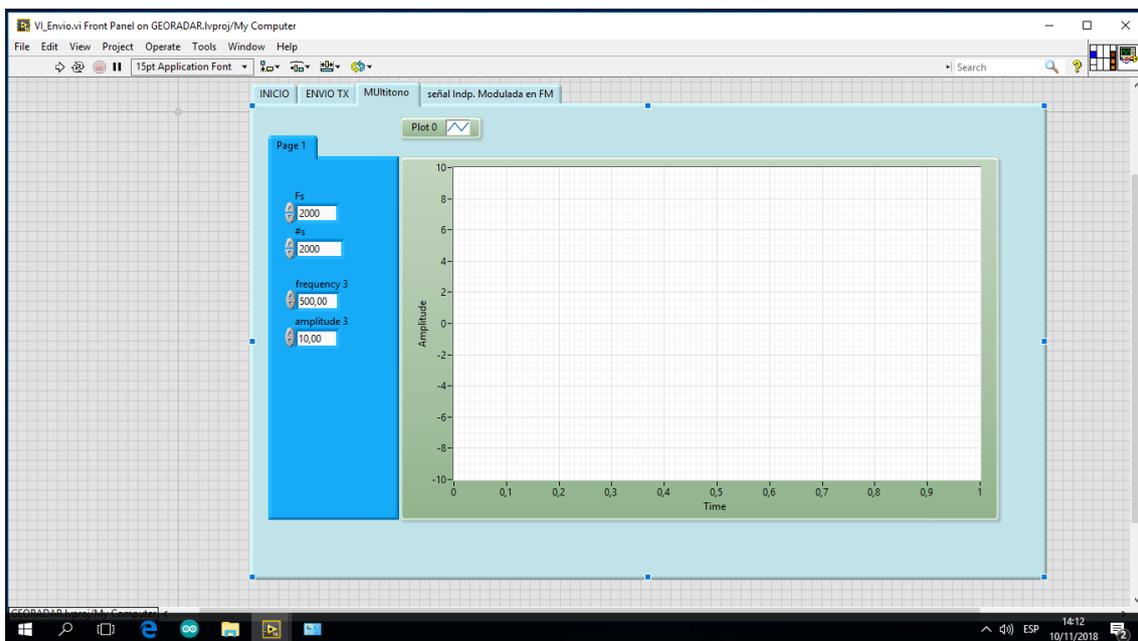


Figura 58. Visualización y configuración de señal multitono.

Configuración interna para la aplicación de una señal multitono, dentro de un bucle case.

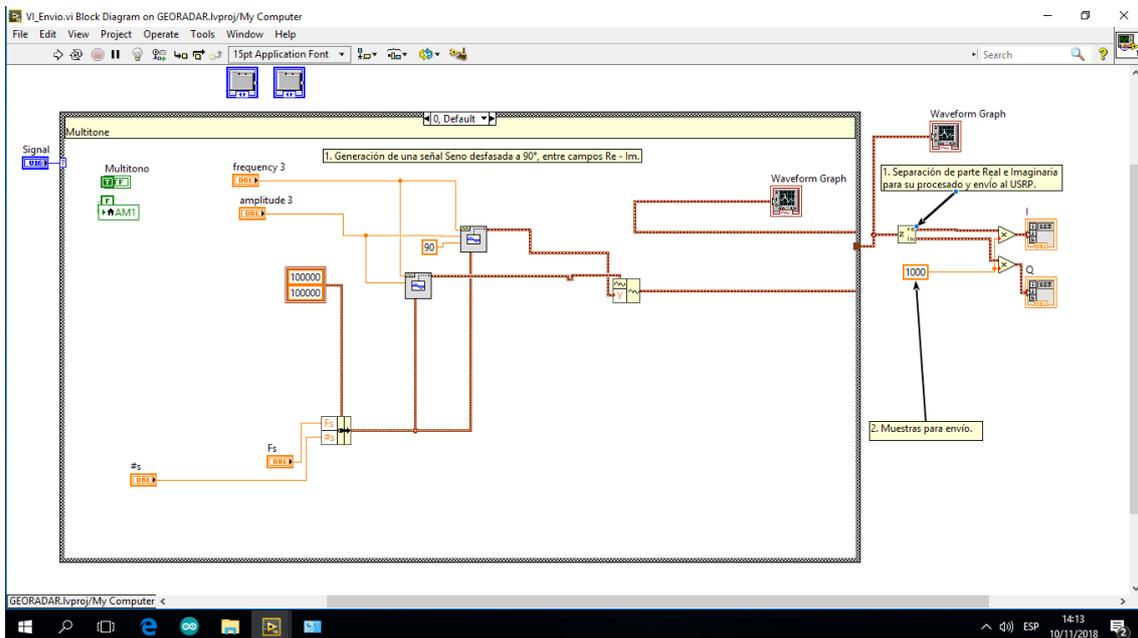


Figura 59. VI Envío configuración interna de señal multitono.

12. Visualización de señal modulada en AM SSB

Panel de visualización de señal AM SSB

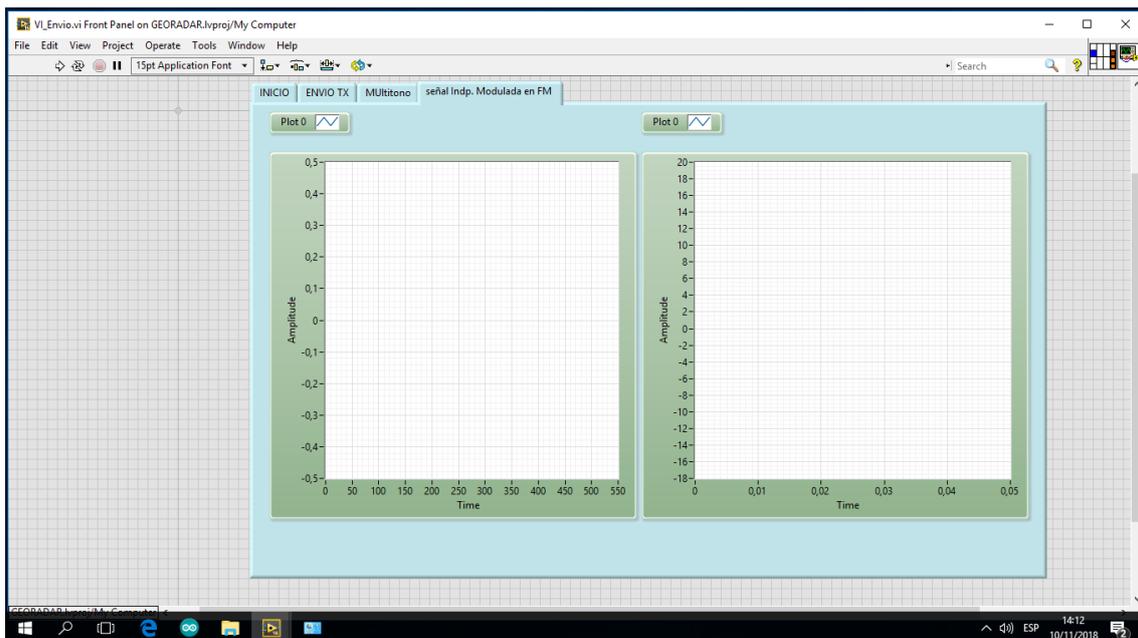


Figura 60. Visualización de señal modulada en AM SSB.

Configuración interna de la señal AM SSB, donde se pueden cambiar parámetros.

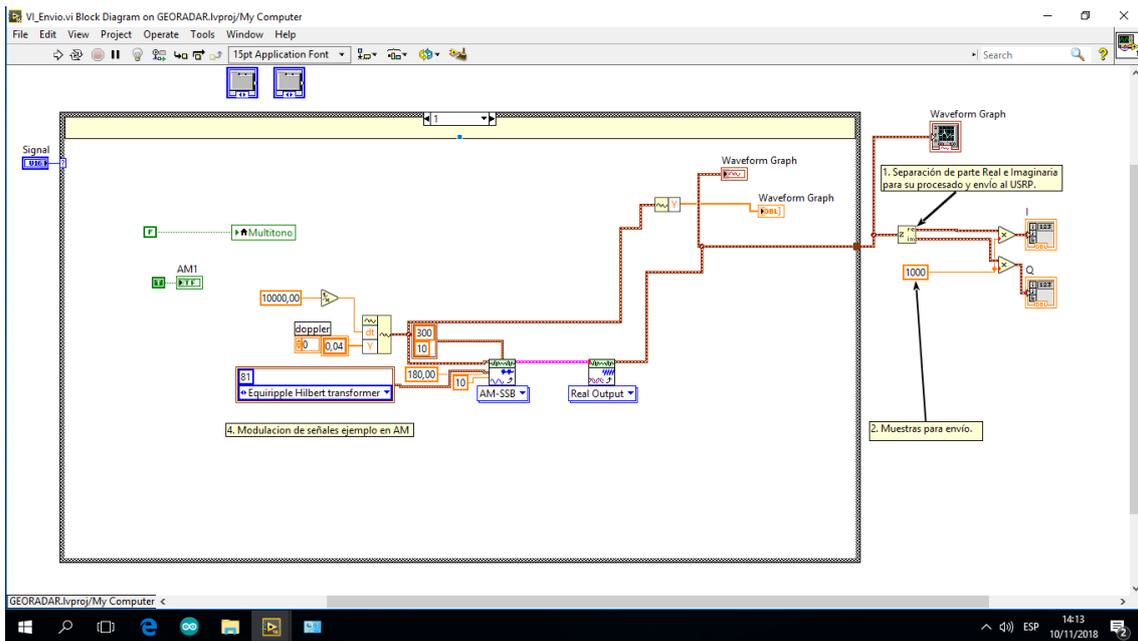


Figura 61. VI envío configuración interna de señal modulada en AM SSB.

13. En el submenú se ingresa al panel principal de VI Recepción de señal de respuesta.

Portada de subVI de recepción de señal

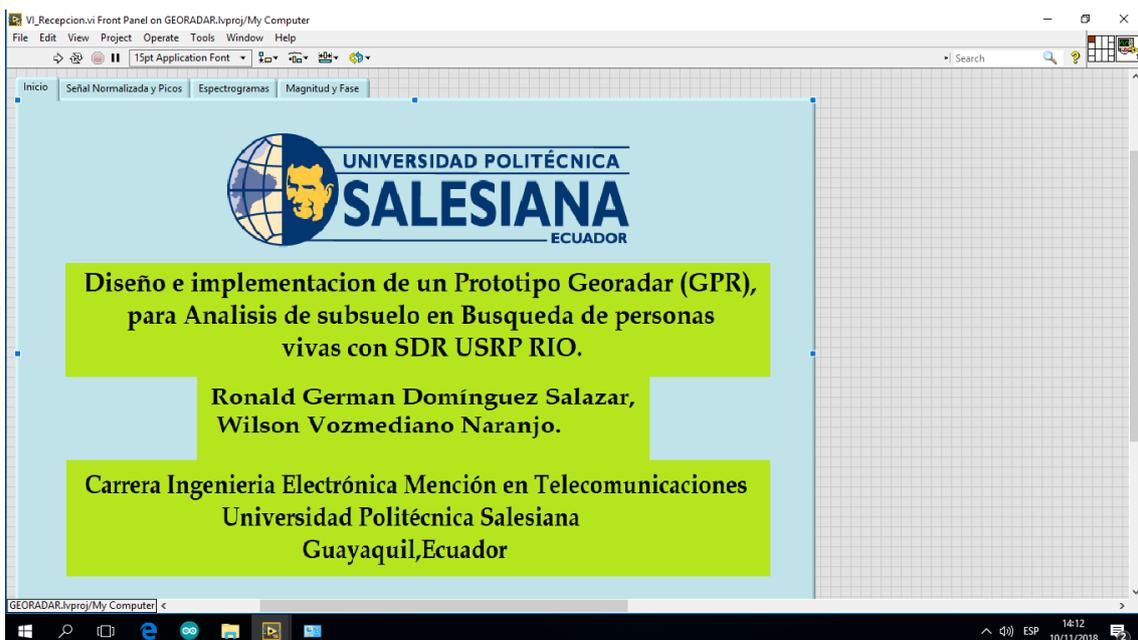


Figura 62. VI Recepción de señal de respuesta.

14. VI Recepción escalado y normalización de señal (visualización de picos)

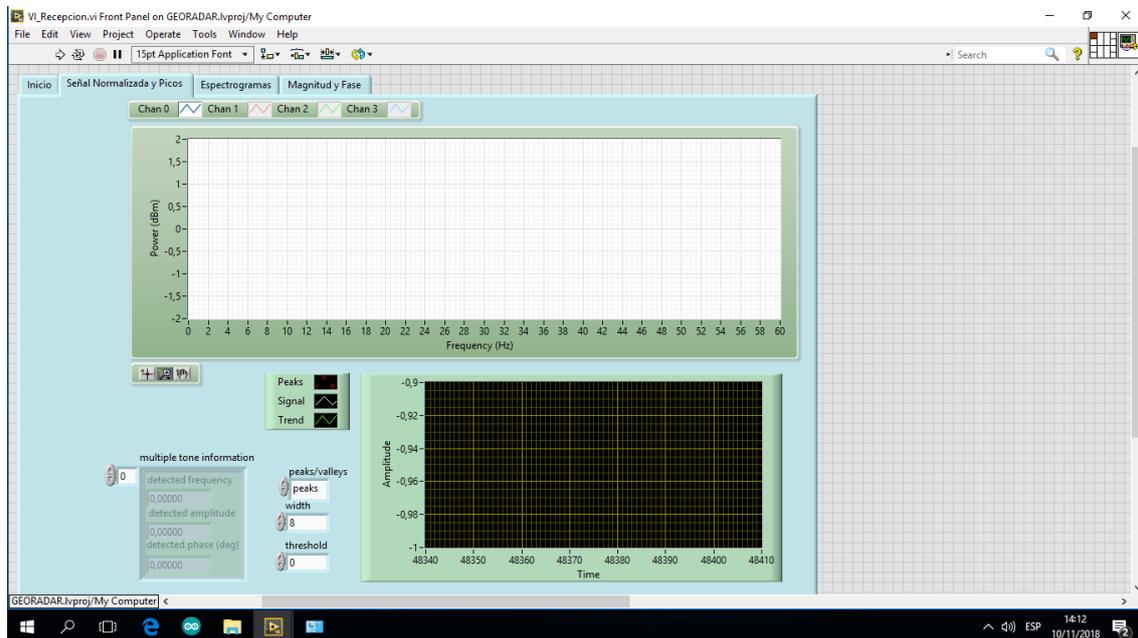


Figura 63. VI Recepción escalado y normalización de señal.

15. VI Recepción visualización de señal por medio de espectrograma.

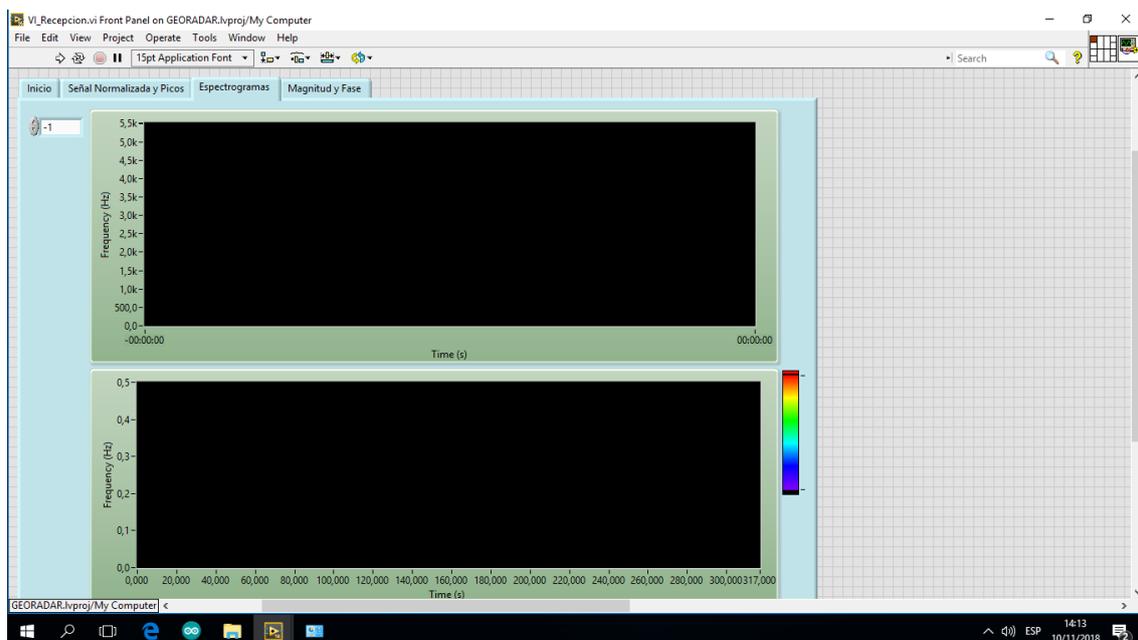


Figura 64. Recepción visualización de señal por medio de espectrograma.

16. VI Recepción visualización de bode variante en el tiempo.

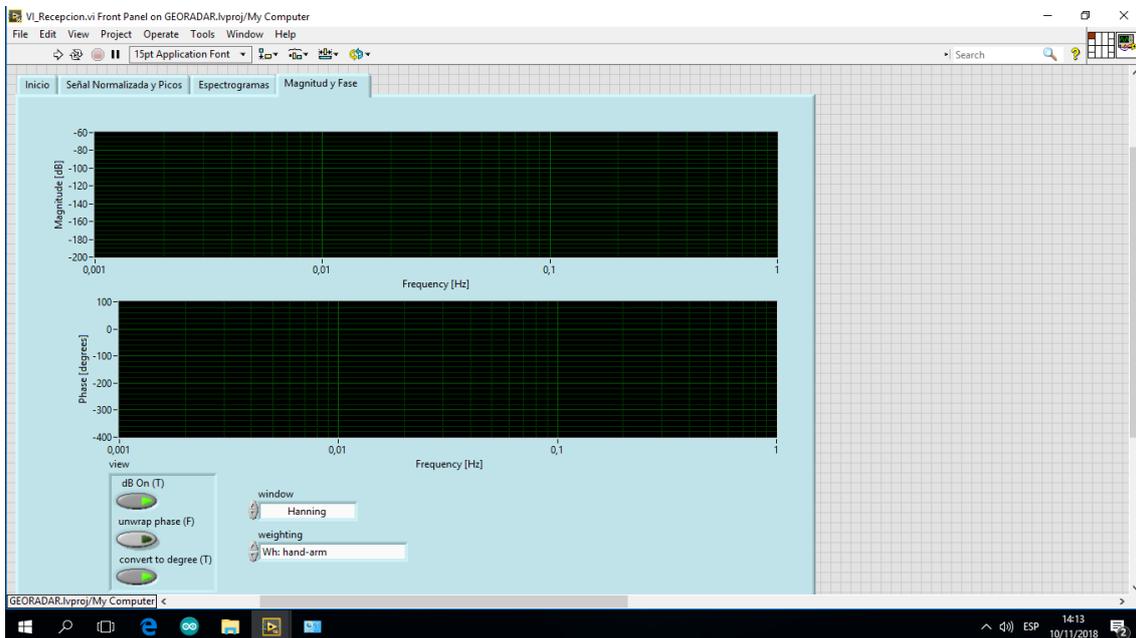


Figura 65. Recepción visualización de bode variante en el tiempo.

Configuración interna para operaciones y análisis, posteriormente graficación.

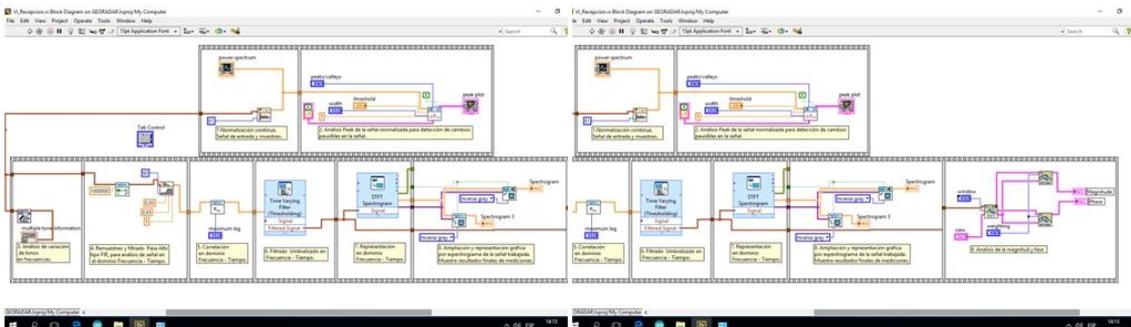


Figura 66. Configuración de recepción de señal.

Para la ejecución de las pruebas, se aplicaron varios métodos con varios tipos de frecuencia como de modulaciones y filtros, según se menciona a continuación:

4.3.3. Modulaciones:

- AM – SSB Modulación por amplitud.

4.3.4. Filtros:

- Pasa alto

4.3.5. Transformadas:

- *Fast Fourier – Transformada Rápida de Fourier*

4.3.6. Frecuencias de modulaciones:

- A 2khz
- A 300hz
- A 500hz

Dos señales sobrepuestas desfasadas a 90 grados entre sí (con las mismas frecuencias de arriba)

4.4.Aspectos técnicos de la metodología

4.4.1. USRP (Universal Software Radio Peripheral)

Según Durga, entre otros (2014):

USRP es un dispositivo de hardware de comunicación controlado por software que ayuda a resolver muchos problemas de comunicación. Este hardware de comunicación permite sintonizar en varias frecuencias mediante la utilización de un paquete de software de código abierto llamado GRC. (pág. 240)

Referenciando a Durga, entre otros (2014), es posible definir el USRP como una amplia gama de radios desarrolladas por la compañía National Instruments, cuya función es la de proporcionar mayor accesibilidad a diversos productos de hardware que poseen un código abierto. EL USRP permite a los ingenieros diseñar e implementar de forma

rápida diversos sistemas de radio de software potentes y flexibles. El diseño aplicado en los dispositivos de USRP, en conjunto con una selección de placas hijas que cubren una amplia gama de frecuencias, les permite a los desarrolladores a poner en marcha el software de radio con mayor rapidez.

En este caso, para su utilización se requiere que el desarrollador descargue GNU Radio, el cual corresponde a un completo paquete abierto de software de radio fuente y procesamiento de señal. Una vez que haya sido instalado el software y conecte el USRP en una computadora host, estará listo para transmitir y recibir una variedad de señales virtualmente ilimitadas. Así mismo, referenciando a Durga, entre otros (2014), entre los principales beneficios de su incorporación se destacan los siguientes:

- USRP es una plataforma flexible de bajo costo.
- El acoplamiento cercano con el marco de radio del software de la radio de GNU forma una plataforma flexible y de gran alcance.



Figura67. USRP rio 2943
Fuente: (Durga, Himansu, Jyotsna, & Lakhmi, 2014)

Referenciando a Bose y Xie (2014), el USRP puede recibir y transmitir simultáneamente en dos antenas en tiempo real. Todos los relojes de muestreo y los osciladores locales son coherentes, lo que le permite crear MIMO (sistemas de entrada múltiple, y sistemas de salida múltiple). En el USRP, el procesamiento de alta velocidad de muestreo tiene lugar en arreglo de compuerta programable de campo (FPGA), mientras que baja frecuencia de muestreo el procesamiento ocurre en la computadora host.

Las dos digitales a bordo los DDC (*Digital Down Converters* – convertidor digital descendente) mezclan, filtran y diezman (a partir de las 64 MS/s – muestras por segundo) señales entrantes en el FPGA (*Field-Programmable Gate Array* - matriz de puertas programables). Así mismo, los DUC (*Digital Up Converter* - controlador universal doble) interpolan las señales de banda base a 128 MS/s – muestras por segundo, antes de traducirlas a la frecuencia de salida seleccionada. Los DDC (convertidor digital descendente) y los DUC (controlador universal doble) combinados con las altas tasas de muestreo también simplifican en gran medida el filtrado analógico. Las placas de conexión montadas en el USRP proporcionan flexibilidad, Frontales RF totalmente integrados. El USRP tiene capacidad para hasta dos RF placas secundarias transceptoras (o dos transmiten y dos reciben) (Bose & Xie, 2014).

4.4.2. Toolkits (Herramientas de procesamiento de señal avanzado)

De acuerdo con la publicación realizada por la empresa National Instruments (2018), “*Advanced Signal Processing Toolkit*” es una suite de herramientas de software, programas de ejemplo y utilidades para análisis de tiempo-frecuencia, análisis de series de tiempo y ondas cortas”.

En este caso, referenciando la información publicada por National Instruments (2018), esta herramienta proporciona VIs para análisis de frecuencia de tiempo, análisis de series de tiempo, análisis de wavelets e identificación de sistema. En este caso, los VIs de análisis de frecuencia de tiempo utilizados para convertir una señal de dominio de tiempo en una representación de dominio de tiempo-frecuencia lineal o cuadrático. Así mismo, permite obtener información relevante con respecto a la representación de dominio de frecuencia de tiempo de una señal, o puede procesar una representación de dominio de frecuencia de tiempo y reconstruir una señal de dominio de tiempo.

Por otra parte, los *VIs de Wavelet Analysis* son útiles para realizar transformaciones inversas entre una señal y los coeficientes *wavelet* de la señal. Esto permite usar los VIs de extracción de características para realizar la eliminación de ruidos, la detención, la estimación de la función de densidad de probabilidad, la detección de picos, la detección de bordes y la detección de cresta en una señal 1D o 2D (National Instruments , 2018).

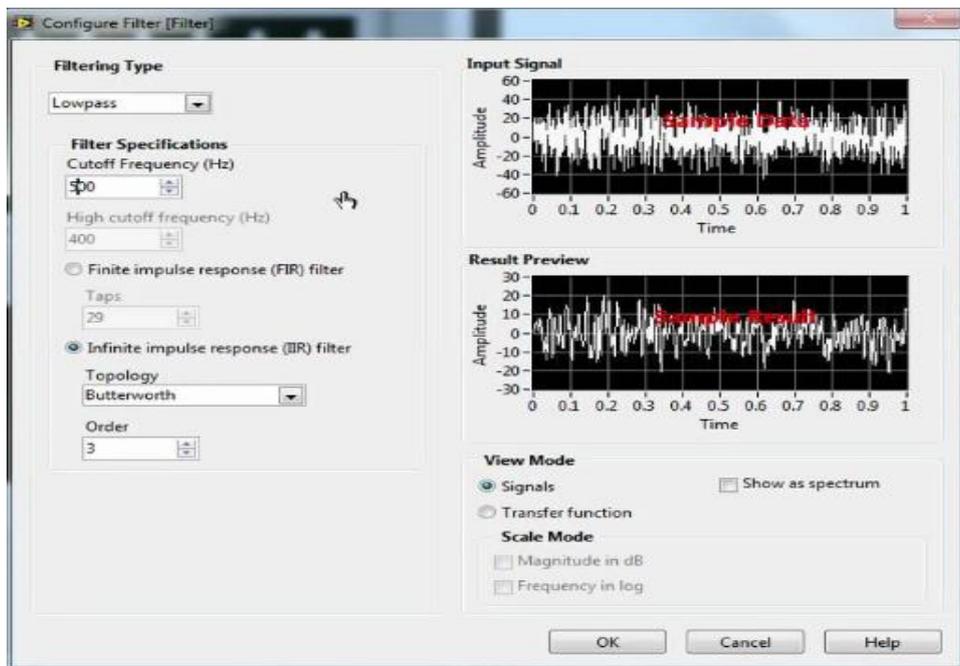


Figura 68. Advanced Signal Processing Toolkit.
Fuente: (National Instruments , 2018)

Así mismo, según National Instruments (2018), los VIs de identificación del sistema de herramientas de procesamiento de señal avanzado permiten pre-procesar los datos sin procesar de un sistema dinámico y desarrollar un modelo que refleje el comportamiento de ese sistema, a su vez permite analizar la respuesta de un sistema dinámico a un determinado estímulo.

4.4.3. RF Toolkit (Kit de herramientas de radiofrecuencia)

Según Márquez (2014): “Los sistemas RF integran múltiples herramientas que operan utilizando radiofrecuencias para conocer en tiempo real y de forma inalámbrica datos sobre el sistema, ya que permiten transmitir datos desde cualquier punto al servidor y viceversa”. (p. 48)

Básicamente, el kit de herramientas de radiofrecuencia es una colección de utilidades independientes utilizadas para medir rendimiento de la capa física. Los sistemas de RF Toolkit incluyen una serie de aplicaciones, sin embargo, dependiendo de las versiones de RF es preciso comprobar su compatibilidad con relación a las versiones de RF Toolkit, tales como:

- Bluetooth Toolkit,
- FM-RDS Toolkit,
- GNSS (GPS & GLONASS),
- GSM-EDGE + Toolkit, LTE Toolkit,
- WCDMA-HSPA + Toolkit, Mobile WIMAX Toolkit,
- WLAN Toolkit.

En otro apartado, referenciando a la empresa National Instruments (2018), entre las principales herramientas de las cuales hace uso los sistemas de RF y comunicaciones, se destacan los siguientes:

- Analizadores de señales.
- Generadores de señales.
- Transceptores de IF.
- Near Field Instrumentation.
- Analizadores de Red Vectorial.
- Medidores de Potencia.
- Acondicionamiento de señales.
- NI PXIe-5667.
- Conmutadores.
- Una amplia gama de versiones de software.

RESULTADOS

5.1. Prueba # 1

5.1.1. Prueba con señal AM



Figura 69. Visualización de Envío y Recepción de Señal AM.

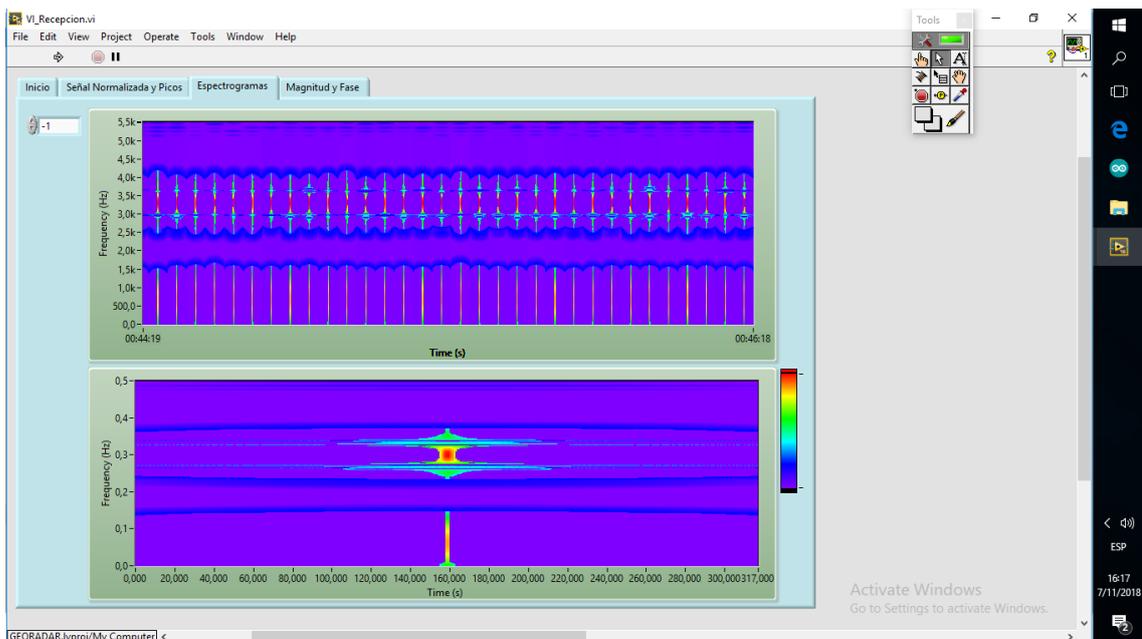


Figura 70. Sin detección de señal.

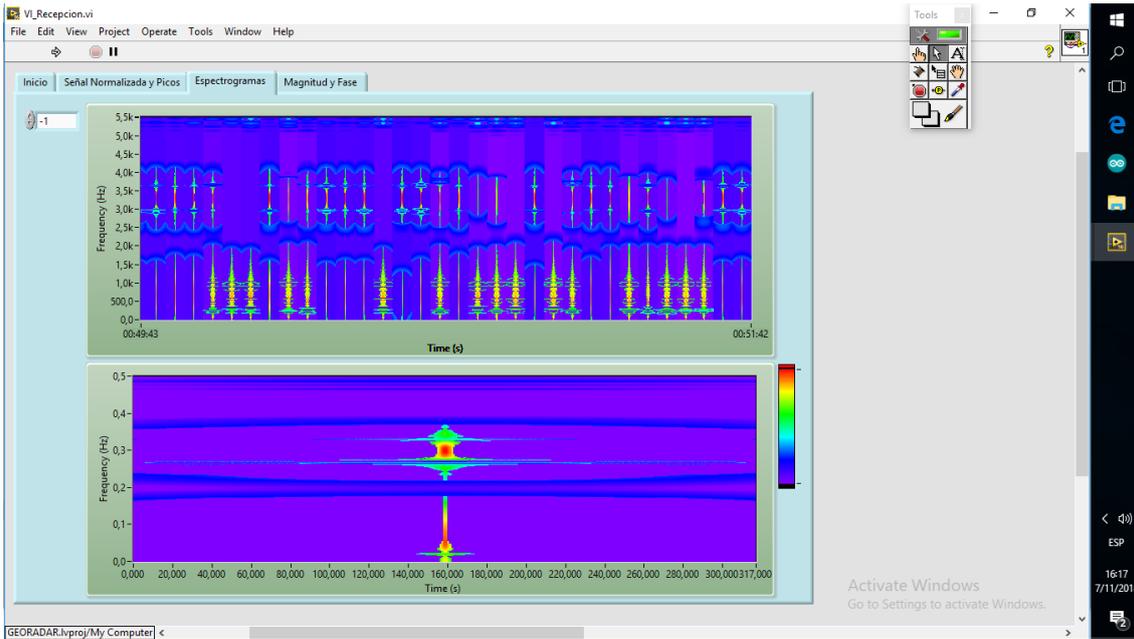


Figura 71. Detección de señal.

5.1.2. Resultados de la prueba # 1: Envío y recepción de señal AM

La prueba 1 de modulación AM, los resultados nos demuestran la detección de personas a través de escombros con una distancia relativa de 2 a 4 metros, variando la morfología de los escombros o de lo que se esté cruzando. También se obtuvo una mayor distancia a línea de vista directa que iba desde los 2 hasta los 8 metros, la variación de la señal graficada es validada manteniendo una posición de entre 10 a 15 segundos, en los cuales podemos notar que en dicho punto se encuentra una variación de la señal dada por la interferencia de un cuerpo humano.

Este tipo de prueba se realiza con base a un modelo de medición de Georadares conocido como Antenas Bistáticas.

5.2. Prueba # 2

5.2.1. Prueba con señal Multitono

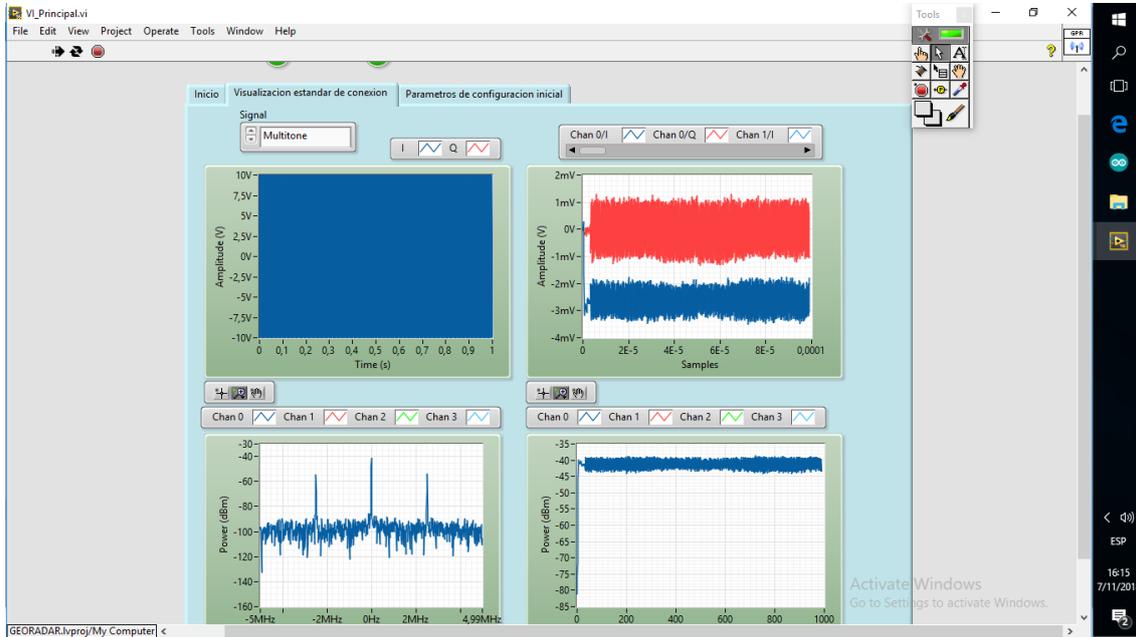


Figura 72. Visualización de Envío y Recepción de Señal Multitono.

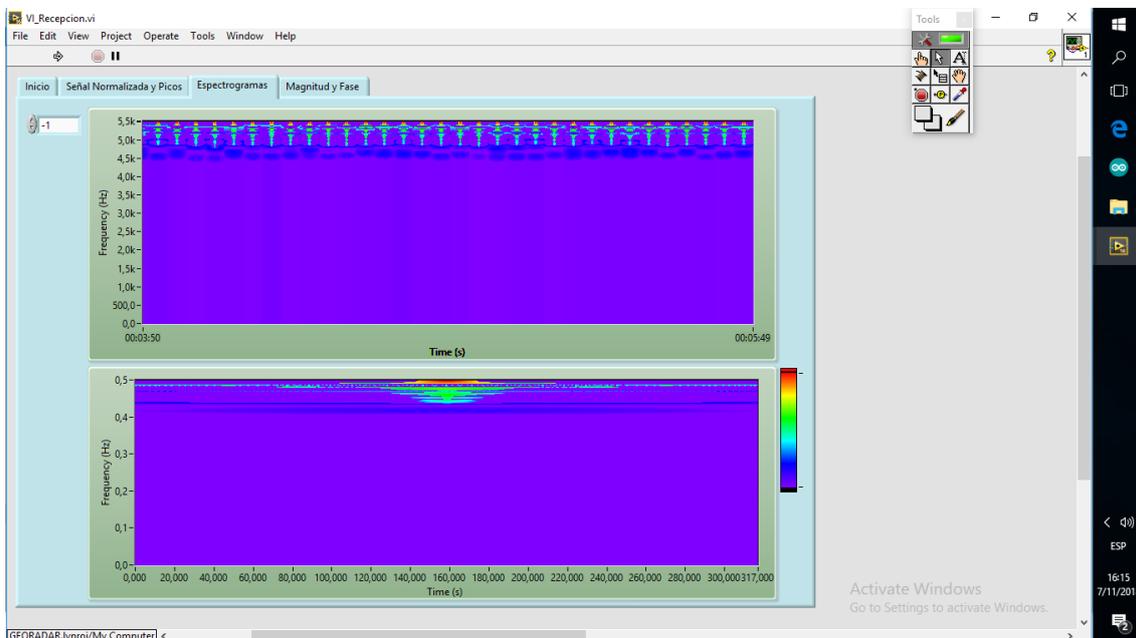


Figura 73. Sin detección de señal Multitono.

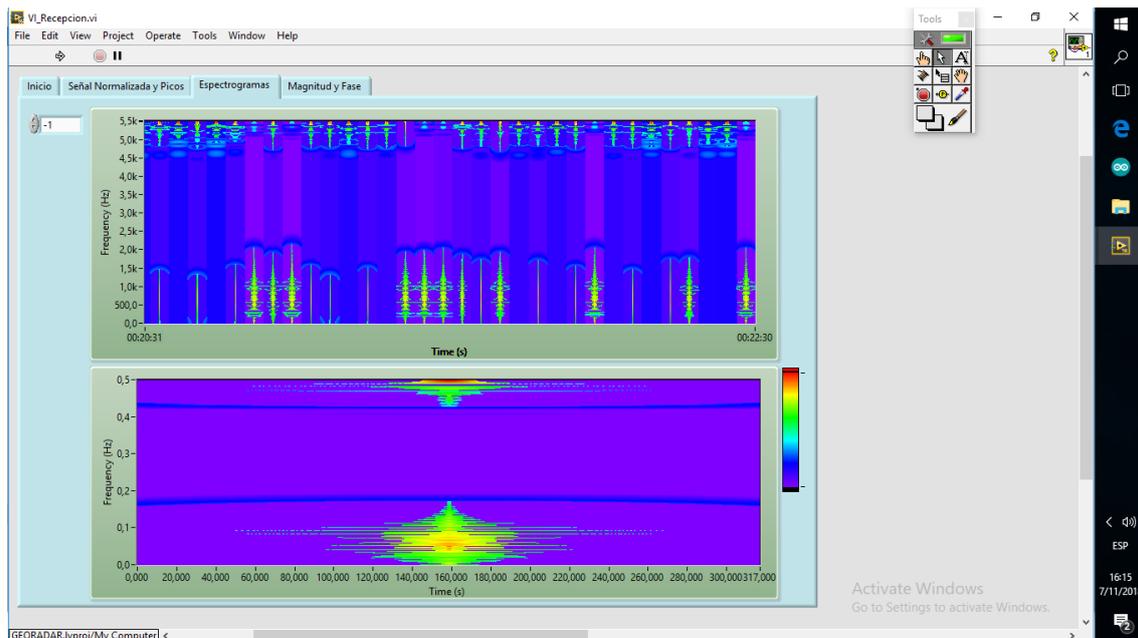


Figura 74. Detección de señal Multitono.

5.2.2. Resultados de la prueba # 2: Envío y recepción de señal multitono

La prueba 1 de señal multitono los resultados nos demuestran la detección de personas a través de escombros con una distancia relativa de 2 a 4 metros, variando la morfología de los escombros o de lo que se esté cruzando. También se obtuvo una mayor distancia a línea de vista directa que iba desde los 2 hasta los 8 metros, la variación de la señal graficada es validada manteniendo una posición de entre 10 a 15 segundos, en los cuales podemos notar que en dicho punto se encuentra una variación de la señal dada por la interferencia de un cuerpo humano.

A diferencia de la prueba uno, la intensidad de la señal recibida es más fuerte, otorgando una mayor claridad en la gráfica. Este tipo de prueba se realiza con base a un modelo de medición de Georadares conocido como Antenas Biestáticas.

Conclusiones

- La adquisición de TOOLKITS para la programación y configuración del software como el uso de una tarjeta PXI express para la conexión entre el software LABIEW y el hardware o dispositivo USRP RIO, se produce debido que este último no admite otro tipo de conexión, lo cual impide que se pueda adaptar el sistema a otro computador que no posea dicho componente.
- La mayoría de los componentes para mejorar la calidad de envío y recepción, dependen desde la calidad de los conectores, distancia de cable, modelo de antena, señales y frecuencias a usar, así como la potencia, el ángulo de radiación y tipo de medición a realizarse.
- Para la utilización del programa del software LabView, se necesitó de un conocimiento de nivel intermedio para la manipulación del software, así como también la información necesaria para el manejo del tipo de conexión y enlace del dispositivo USRP RIO.
- La morfología de la señal, así también como su modulación, frecuencia y amplitud, deben estar en un rango aceptable para la detección oportuna; a su vez, la antena debe tener características específicas como directividad, alta ganancia y poca pérdida por ruido, porque son factores que influyen en la distancia y fidelidad de la señal.
- El análisis de la representación gráfica, se notó una ambigüedad para la graficación de los resultados captados; las gráficas básicas no demuestran resultados claros o fiables, se requiere de complementos de graficación y cálculos extras, para obtener mejores resultados en la graficación.

Recomendaciones

- Buscar el financiamiento para la adquisición de los complementos como TOOLKITS y adaptadores para lograr una mayor movilidad del dispositivo de detección y un abanico mayor de herramientas para el análisis de las señales.
- La adquisición de conectores con porcentaje de oro en su fabricación ayudaría a reducir pérdida de conectores, en diferentes medidas de cables en base al lugar en donde se vayan a realizar las mediciones, la adquisición de amplificadores de medio vatio, aumentarían la calidad de la señal y su alcance.
- Realizar capacitaciones o seminarios referente al software y sus complementos para un correcto uso de la configuración y programación del dispositivo, así como un correcto enlace entre el USRP RIO y el computador.
- Analizar diferentes tipos de señales que no se hayan tomado en cuenta en este modelo, a fin de mejorar la fidelidad de los resultados, como por ejemplo la modulación de señales digitales, uso de otras frecuencias del espectro libre para su comparación con las realizadas en esta propuesta. El uso de otro tipo de antenas con mejor directividad, ganancia y ángulo de radiación.
- Implementar complementos licenciados para el cálculo y graficación óptimas de las señales enviadas y recibidas, así como la exploración de otros tipos de gráficas que demuestren mejores detalles de los valores captados.

Bibliografía

- 3M Corporation . (2014). *3M Corporation* . México D.F.: 3M Corporation .
- Alba, J., & Martín, J. (2012). *Instalaciones de distribución de TV y radio*. Madrid: Editex.
- Allán, P., & McDicken, N. (2013). *Relatividad espacial*. Madrid: Elsevier.
- Amaya, J. (2016). *Espectro electromagnético o de luz*. Buenos Aires: Ciencias, salud y medioambiente.
- Arias, F. (2013). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas: Editorial Episteme, C.A.
- Bermúdez, J., & Briones, C. (2015). *Orígenes: El universo, la vida, los humanos; Fernández, Alberto*. Madrid: Grupo Planeta.
- Blanco, P. (2016). *Ecografía en el ojo crítico + acceso web*. Barcelona: Elsevier.
- Bose, T., & Xie, B. (2014). *Actualización parcial de filtrado adaptativo de mínimos cuadrados*. Arizona: Morgan & Claypool Publishers.
- Cabezas, J., & Sánchez, E. (2013). *Infraestructuras comunes*. Madrid: Parainfo.
- Cadena Iñiguez, P. (2017). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1603-1617.
- Candelas, F., Pomares, J., & Vázquez, P. (2013). *Redes y transmisión de datos*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Carrick, E. (2017). *Radar penetrante del suelo: teoría y práctica*. Cambridge: Butterworth-Heinemann.
- Chiozza, J., Miranda, C. A., Miranda, C. V., Schlesinger, P., & Valdez, A. (2014). *Antenas en sistemas inalámbricos de comunicaciones digitales*. Corrientes: UNNE.
- Comisión interamericana de telecomunicaciones. (2016). *El espectro Radioeléctrico*. México D.F.: CITEL.
- Cortez, A. (20 de julio de 2018). *Antena Parabólica: Información y Diseño (Calculos)*. Obtenido de Antena Parabólica: <http://tica970322.blogspot.com/2017/10/antena-parabolica-informacion-y-diseno.html>
- Cruz Roja Americana . (2014). *Manual de preparación personal*. Washington D. C.: Cruz Roja Americana .
- Devis, A. (2014). *Aspectos constitucional de los servicios públicos y las telecomunicaciones*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Díaz, M., Geeslin, K., & Gurzynski, L. (2017). *Introducción y aplicaciones contextualizadas a la lingüística hispánica*. Oxford : John Wiley & Sons.
- Direct Industry. (20 de julio de 2018). *Antenas de radio*. Obtenido de Direct Industry: <http://www.directindustry.es/prod/mvg/product-12128-1444361.html>
- Durga, M., Himansu, B., Jyotsna, M., & Lakhmi, J. (2014). *Inteligencia Computacional en Minería de Datos*. Canberra: Springer.
- Ecuador Inmediato. (26 de julio de 2017). *Cifra oficial de fallecidos por terremoto es de 671, según vicepresidente Jorge Glas*. Obtenido de Ecuador Inmediato: http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=2818805732
- Esopo. (20 de julio de 2018). *Espectro electromagnético*. Obtenido de Esopo: <https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/eem/>
- Facal, T. (2015). *GUÍA para elaborar un proyecto de investigación social*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.

- Fernández, J. (2013). *Geofísica con radar*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Gallardo, S. (2015). *Elementos de sistemas de telecomunicaciones*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- García, A. (2010). *Cálculo de Antenas*. México D.F. : Marcombo.
- Geofísica Argentina. (24 de noviembre de 2015). *Georadar (GPR)*. Obtenido de Geofísica Argentina: <http://geofisicaargentina.com/georadar.html>
- Geolec. (2016). *Georadar de penetración*. México D.F.: Geolec.
- Gómez Gutiérrez, E. (2009). *Introducción al filtrado digital*. Catalunya: Escola Superior de Musica de Catalunya.
- Gómez López, R. (2008). *Aplicación del radar de penetración en tierra (georadar) a la exploración no destructiva de yacimientos arqueológicos*. Granada - España: Universidad de Granada.
- Gómez, I., & Varela, C. (28 de noviembre de 2016). *Ondas infrarrojas*. Obtenido de Redes Locais: <http://ivangomezredeslocais.blogspot.com/2016/11/ondas-infrarrojas.html>
- González, J. (2015). *Serie y Transformada de Fourier para Señales Continuas y Discretas*. Bogotá D.C.: OmniaScience.
- Goodman, D. (2012). *Advances in gpr imaging with multi-channel radar systems from engineering to archaeology*. SAGGEP.
- Hernández, J. (2013). *Antenas: Principios básicos, análisis y diseño*. Mexicali : Universidad Autónoma de Baja California.
- Herrera, R. (2013). *Deconvolución de las señales ultrasónicas en la evaluación no destructiva*. Madrid: Grin.
- Higueras, A. (2014). *Neuroultrasonografía clínica*. Bogotá: Norma.
- Instituto . (21 de agosto de 2017). *Instituto*. Obtenido de Actividad sismo acústica: <https://www.igepn.edu.ec/ccn-actividad-sismo-acustica/tag/cuicocha>
- Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción. (2016). *Riesgo sísmico y rendimiento*. Washington: NIBS.
- JIMDO. (23 de julio de 2018). *Antena vertical multibanda*. Obtenido de JIMDO: <https://ea5fmh.jimdo.com/antenas/>
- Jiménez, R. (2015). *Análisis del mercado de productos de comunicaciones*. Málaga: IC Editorial.
- Laboratorio de Física 3. (2016). *Efecto Doppler con ondas de ultrasonido*. Bogotá - Colombia: Universidad Simón Bolívar.
- Lara, D. (2013). *Sistemas inalámbricos de comunicación personal*. México, D.F.: Marcombo.
- López, V. (2016). *Problemas resueltos de electromagnetismo*. Madrid: Editorial Centro de Estudios Ramon Areces S.A.
- Marcano, M. (2018). *Investigación experimental*. Maracaibo - Venezuela: Universidad Fermín Toro.
- Márquez, P. (2014). *Operaciones de almacén de productos químicos y relacionados*. Málaga: IC Editorial.
- National Instruments . (04 de junio de 2018). *LabVIEW Advanced Signal Processing Toolkit*. Obtenido de Información general: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209055>
- National Instruments. (26 de enero de 2018). *Kit de herramientas de RF y compatibilidad de hardware de RF*. Obtenido de Soporte: <http://www.ni.com/product-documentation/53605/en/>
- Nava, A. (2015). *Procesamiento de series de tiempo*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.

- Ortega, B. (2015). *Tipos de límites entre placas y tipos de corteza terrestre*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pérez, C., & Zamanillo, J. (2015). *Fundamentos de televisión analógica y digital*. Santander: Universidad de Cantabria.
- Reyes, J. (2013). *Caracterización experimental y modelado del canal de propagación inalámbrico A 5.8 GHz en entornos marinos*. Madrid: GRIN Verlag.
- Reyes, J. (2014). *Propagación de Ondas Electromagnéticas en la Frontera de Tres Medios*. Madrid: Academia Espanola.
- Roa Ramos, E. A. (2015). *Evaluación de la técnica de prospección mediante el uso de Georradar*. Bogotá - Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, E. (2013). *Metodología de la Investigación*. Villahermosa: Universidad de Juárez Autónoma de Tabasco.
- Rouse, M. (2013). *Polarización de onda*. New York: Tech Target.
- Seeley, R. (2014). *Introducción a las series e integrales de Fourier*. México D.F.: Reverte.
- Tecmoser, S.L. (09 de mayo de 2018). *Georadar*. Obtenido de Radargrama: <http://www.tecmoser.com/georadar.html>
- Tipler, P. (2014). *Física para la ciencia y la tecnología, Volumen 2*. Barcelona: Reverte.
- Tomasi, W. (2013). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.
- Trojan UV. (20 de julio de 2018). *Introducción a la desinfección por UV*. Obtenido de Trojan UV: <https://www.trojanuv.com/es/uv-basics/>
- Universia Costa Rica. (04 de septiembre de 2017). *Tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa*. Obtenido de Universia Costa Rica: <http://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.html>
- Valencia Z., L. (2010). *Integración del Downconverter NI5660 a través de instrumentos virtuales bajo Labview para generar diseños de referencia y procedimientos aplicables a sistemas de telecomunicaciones*. Sangolquí - Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Villa, R. (01 de enero de 2015). *Propagación de Ondas Electromagnéticas*. Obtenido de <http://catarina.udlap.mx/>: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/vila_b_ca/capitulo1.pdf