



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PRUEBAS DE UN RADAR MONOESTÁTICO
UTILIZANDO RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE

ESTUDIANTES:

FRANCISCO ISAAC VERA ROSALES

ANDREA MICHELLE MORA GUIJARRO

TUTOR:

ING. CARLOS ALBERTO BOSQUEZ BOSQUEZ Msc.

Guayaquil, Abril del 2017

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Mora Guijarro Andrea Michelle con cédula de identidad N° 0930885058 y Vera Rosales Francisco Isaac con cédula de identidad N° 0924289135, declaramos que este trabajo de titulación “DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PRUEBAS DE UN RADAR MONOESTÁTICO UTILIZANDO RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Guayaquil, Abril del 2017.

Andrea Michelle Mora Guijarro
C.I. 0930885058

Francisco Isaac Vera Rosales
C.I. 0924289135

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHO

Nosotros, Mora Guijarro Andrea Michelle con cedula de identidad N° 0930885058 y Vera Rosales Francisco Isaac con cedula de identidad N° 0924289135, autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PRUEBAS DE UN RADAR MONOESTÁTICO UTILIZANDO RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Guayaquil, Abril del 2017.

Andrea Michelle Mora Guijarro

C.I. 0930885058

Francisco Isaac Vera Rosales

C.I. 0924289135

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITA
POR EL TUTOR**

Por medio de la presente quiero darle a conocer que el Proyecto de titulación: “DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PRUEBAS DE UN RADAR MONOESTÁTICO UTILIZANDO RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE” que se realizó por la Srta. Mora Guijarro Andrea Michelle y el Sr. Vera Rosales Francisco Isaac, estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica, ha sido concluida, y revisada en su totalidad, tanto el trabajo escrito como el trabajo práctico.

Particular que informo para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Carlos Bosquez Bosquez Msc.

DIRECTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mis padres que han sido apoyo incondicional en todo momento a lo largo de toda mi vida, por ellos que creen en mí, me apoyan a cumplir mis metas y aspiraciones, por sus consejos y formación que me ayudaron a concluir el presente proyecto. A mis abuelos, que gracias a Dios tengo la dicha de tenerlos junto a mí, por ser una pieza fundamental en mi vida.

Andrea Mora Guijarro

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a Dios y a mi familia quienes me dieron su apoyo incondicional para el desarrollo del mismo, a mi madre la Arq. Marjorie Rosales Granizo quien hizo posible que llegue a este logro y me incentivó para culminar a punto de sacrificios, así como también mi padre el Arq. Francisco Vera Molina que con sus consejos y su gran ayuda.

Francisco Isaac Vera Rosales

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida y salud que me brinda, motor fundamental que me dio fuerzas y confianza cuando más necesitaba para poder terminar mi proyecto de titulación.

A mis padres, que con su esfuerzo y sus principios han hecho de mi la mujer que soy, que a pesar de los momentos difíciles jamás desanimaron, al contrario, me enseñaron lo fuerte que son y salir adelante, por sus confianza y palabras en todo momento.

A mis compañeros y amigos con los que he compartido momentos durante mi etapa universitaria y que ayudaron en mi formación.

A mi compañero Francisco Vera, por su ingenio y entrega al proyecto, al Ing. Guillermo Zambrano que nos fomentó de sus conocimientos para la culminación del trabajo.

Agradezco a todos los docentes de la carrera Ingeniería Electrónica por los aprendizajes otorgados, en inculcarnos conocimientos valores morales, a mi tutor el Ing. Carlos Bosquez que nos dio su soporte y ayuda para lograr el objetivo del presente trabajo.

Andrea Mora Guijarro

AGRADECIMIENTO

A Dios primero ante todas las cosas por darme la sabiduría e inteligencia para el desarrollo y culminación de la carrera.

A mis padres y familia que constantemente me dieron la mano para seguir adelante, perseverando para no rendirme ante el reto universitario, estuvieron ahí siempre brindándome su apoyo.

A mi tutor de trabajo de titulación: Ing. Carlos Alberto Bosquez, docente, quien dedicó parte de su tiempo para instruirme en el desarrollo de este trabajo.

A mi compañera de trabajo de titulación: Andrea Michelle Mora Guijarro con quien día a día nos dimos la mano, esforzándonos para seguir adelante, compartiendo cada conocimiento adquirido, para trabajar en nuestro proyecto.

Al Ing. Guillermo Zambrano por su experiencia, sus conocimientos y consejos que nos brindó durante el desarrollo del proyecto de titulación.

A la Universidad Politécnica Salesiana que junto a sus docentes y personal me enseñó muchos valores que como persona nos ayuda a crecer para bien.

Francisco Isaac Vera Rosales

RESUMEN

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PRUEBAS DE UN RADAR MONOESTÁTICO UTILIZANDO RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE.

El presente proyecto describe un prototipo de pruebas de un radar monoestático con la finalidad de incentivar a los estudiantes en el desarrollo educativo de su carrera.

Para llevar a cabo este prototipo se trabajó con LabView permitiendo analizar y comprender el comportamiento del desplazamiento de frecuencia (efecto Doppler) como también los niveles de potencia por medio de los VIs (Instrumentación Virtual) top Tx y top Rx que ofrece National Instrument.

Los niveles de potencia captados por el receptor, son almacenados como datos, que ayudaron a definir el comportamiento de la distancia con respecto a la potencia. Empleando fórmulas de sumatorias, a través de arreglos y mediante regresión lineal se obtuvo la ecuación con la que se calculó la distancia. Se visualizaron los símbolos aleatorios enviados en QPSK, en el diagrama de constelación. Los diagramas gráficos se usaron para observar la potencia y distancia obtenidas. Por medio del efecto Doppler y la ecuación de velocidad de un radar se llegó a obtener la misma. Aquello fue realizado en las instalaciones de la UPS Guayaquil.

Para el funcionamiento del sistema se utilizaron dos antenas Patch para interiores directivas que trabajan en rangos de frecuencias de 1.71 - 2.2 GHz, las cuales se conectan a dos USRP 2920 respectivamente de National Instruments y estos a su vez en conexión MIMO. Tomando en cuenta según el fabricante estos equipos trabajan a su mejor rendimiento con temperaturas inferiores a los 24°C, este proyecto se lo realizó en un ambiente con temperatura de 20°C.

Palabras Clave: Prototipo, LabView, Universal Software Radio Peripheral (USRP), antena Patch, directivas, radar estático, National Instrument, regresión lineal.

ABSTRACT

DESIGN OF A TEST PROTOTYPE OF A MONOSTATIC RADAR USING RADIO DEFINED BY SOFTWARE.

The present project describes a prototype of a monostatic radar test in order to encourage students in the educational development of their career.

In order to carry out this prototype we worked with LabView allowing to analyze and understand the behavior of the frequency shift (Doppler effect) as well as the power levels through of the VI (Virtual Instrumentation) top Tx and top Rx offered by National Instrument.

The power levels captured by the receiver are stored as data, which helped define the behavior of the distance with respect to power. Using summative formulas, through arrangements and through linear regression, the equation with which the distance was calculated was obtained. The random symbols sent in QPSK were displayed in the constellation diagram. The graphical diagrams were used to observe the power and distance obtained. By means of the Doppler effect and the speed equation of a radar, the same one was obtained. That was done at the facilities of UPS Guayaquil.

For the operation of the system two Patch antennas for directional interiors were used that work in frequency ranges of 1.71 - 2.2 GHz, which are connected to two USRP 2920 respectively of National Instruments and these in turn in MIMO connection. Taking into account according to the manufacturer these equipments work at their best performance with temperatures below 24 ° C, this project was realized in an environment with temperature of 20 ° C.

Keywords: Prototype, LabView, universal software radio peripheral (USRP), patch antenna, directives, static radar, National Instrument, linear regression.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	18
1.1. Descripción del problema	18
1.2. Antecedentes	19
1.3. Importancia	19
1.4. Alcance	20
1.5. Delimitación	20
1.5.1. Delimitación Temporal	20
1.5.2. Delimitación Espacial	20
1.5.3. Delimitación Académica	20
2. OBJETIVOS	21
2.1. Objetivo General	21
2.2. Objetivos Específicos	21
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	22
3.1. Radar	22
3.2. Clasificación Sistema Radar	22
3.2.1. Número de antenas:	22
3.2.2. Según el blanco	24
3.2.3. Forma de onda	24
3.2.5. Frecuencias de Radar	26
3.3. Modulaciones en Radares	27
3.3.1. Modulación de Frecuencia	27
3.3.2. Modulación QPSK	28
3.3.3. PSK (Phase Shift Keying) /Cambio de fase	29
3.3.4. BPSK (Binary Phase Shift Keying)/Codificación de desplazamiento de fase binaria	29
3.3.5. QAM (Quadrature amplitude modulation)/Modulación de amplitud de cuadratura	29
3.3.6. Resolución del Prototipo	30
3.3.7. Factores que afectan el funcionamiento del Radar	31
3.3.8. Distancia de detección	31
3.4. Factores externos al radar que afectan a la detección	33
3.4.1. Características del blanco	33

3.5.	Ventajas y desventajas	34
3.6.	Filtro de transmisión y recepción	34
3.7.	Regresión Lineal	36
3.8.	Antena	39
3.8.1.	Área equivalente de absorción	39
3.8.2.	Densidad de potencia	39
4.	METODOLOGÍA	42
4.1.	Justificación sobre el método elegido	42
4.2.	Procedimiento	42
4.3.	Instrumentos empleados	42
4.3.1.	LabVIEW	42
4.3.2.	NI-USRP 2920	44
4.3.2.1.	Funcionamiento externo de NI-USRP	45
4.3.2.2.	Indicadores LED del dispositivo	46
4.3.2.3.	Características de NI-USRP 2920	47
4.3.2.4.	Funcionamiento Interno de NI-USRP 2920	48
4.3.3.	Antena	49
4.3.3.1.	Característica de la Antena	50
4.3.4.	Regresión lineal	51
4.3.5.	Doppler	53
4.3.6.	Desplazamiento de Frecuencia	54
4.4.	Análisis de la información obtenida	55
4.4.1.	Distancia	55
4.4.2.	Velocidad	57
4.4.3.	Breve descripción de las Prácticas realizadas	60
4.4.3.1.	Práctica 1	60
4.4.3.2.	Práctica 2	60
4.4.3.3.	Práctica 3	61
4.4.3.4.	Práctica 4	61
4.4.3.5.	Práctica 5	61
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	62
5.1.	Prototipo de pruebas del radar monoestático	62
5.2.	Definición de escenario de funcionamiento	64

5.3. Selección de antena	70
5.4. Pruebas para medir rango y velocidad	72
5.4.1. Distancia 0.6 metros	72
5.4.2. Distancia 1.2 metros	74
5.4.3. Distancia 1.8 metros	76
5.5. Velocidad	78
6. CONCLUSIONES	80
7. RECOMENDACIONES	81
8. BIBLIOGRAFÍA	82
9. ANEXOS	84

Abreviaturas/Acrónimo

Sampling	Muestreo
dB belio	Decibelios - es una unidad logarítmica y es la décima parte del
dBm	Milivattios en decibelios
CW	Continue Wave Onda continúa
USRP	Universal Software Radio Peripheral Sistema periférico universal de radio
PXI	PCI Extensions for Instrumentation Extensiones PCI para instrumentación
FPGA	Field Programmable Gate Array Arreglo de compuertas programables
SMA	SubMiniature version A
TTL	Transistor Transistor Logic Lógica del Transistor del transistor
RF	Radio Frecuencia
RJ/45	Registered Jack 45 Registrado Jack 45
Mimo	Multiple input multiple output Entrada múltiple salida múltiple
LO	Oscilador Local
LNA	Amplificador de bajo ruido
MS/s	million of samples per second Millones de muestras por segundo
RADAR	Radio Detection And Ranging Detección y medición de distancias por radio

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Diseño general Radar Biestático y Radar Monoestático (Vargas, 2014).....	23
Figura 2. Radar de pulso	25
Figura 3. Pulso a una sola frecuencia (izquierda) Pulso con frecuencia cambiante (derecha)	25
Figura 4. Frecuencias de Radares (Alvaréz & Shagñay, 2015)	26
Figura 5. Señales FM en el dominio del tiempo (Arrambi, 2005)	28
Figura 6. Moduladores I “IN- PHASE”/Q “QUADRATURE”(Calvo & Martínez, 2008) ..	28
Figura 7. Observación por el Radar desde diferentes posiciones a lo largo de la trayectoria (Vargas, 2014)	32
Figura 8. Respuesta al impulso de filtro RRC (Rs normalizada)	36
Figura 9. Respuesta de frecuencia del filtro RRC.....	36
Figura 10. Recta de regresión.....	37
Figura 11. Ausencia de relación (izquierda) Relación no lineal (derecha)	38
Figura 12. Patrón de radiación.....	40
Figura 13. Ancho del haz	41
Figura 14. Polarización Horizontal y Vertical	41
Figura 15. Ventana del panel frontal.....	43
Figura 16. Ventana del diagrama de bloques.....	44
Figura 17. NI-USRP 2920 vista frontal (INSTRUMENT).....	45
Figura 18. Diagrama de bloque del módulo NI-USRP 2920	48
Figura 19. Antena Patch para interiores (CommScope, 2016)	49
Figura 20. Patrón de radiación, frecuencia 1710 MHz (CommScope, 2016)	50
Figura 21. Patrón de radiación, frecuencia 2170 MHz (CommScope, 2016).....	51
Figura 22. Diagrama de dispersión	52
Figura 23. Diagrama de bloques – Radar Doppler	53
Figura 24. Sección transversal del objeto/blanco como lo ve el radar (Perez, 2010)..	54
Figura 25. Respuesta de desplazamiento de frecuencia (Vargas, 2014)	55
Figura 26. Gráfica de la ecuación determinada para la distancia	57
Figura 27. top_tx.vi (Panel frontal)	58
Figura 28. top_tx.vi (Diagrama de bloques).....	58
Figura 29. top_rx.vi (Panel frontal)	59
Figura 30. top_rx.vi (Panel frontal)	59
Figura 31. Diagrama de Bloques del prototipo Radar	60
Figura 32. Demostración de frecuencia Doppler negativa	64
Figura 33. Primer escenario, pruebas realizadas en el laboratorio de Telecomunicaciones de la UPS	64
Figura 34. Segundo escenario, en los pasillos del bloque B.	65

Figura 35. Tercer escenario, pruebas realizadas con USRP dentro del laboratorio y antenas en el pasillo	66
Figura 36. Distancia entre antenas y mástiles.....	67
Figura 37. Altura de antenas y mástiles	68
Figura 38. Obstáculo del prototipo	69
Figura 39. Rieles para obstáculo y medidas de cada punto	69
Figura 40. Patrón de radiación antena parabólica de rejilla	71
Figura 41. Patrón de radiación antena yagi.....	71
Figura 42. Patrón de radiación antena parabólica de rejilla	72
Figura 43. Se muestra detallada la posición a 0.6 m	72
Figura 44. Inicio de la potencia recibida	73
Figura 45. Durante estabilización de la señal recibida.....	73
Figura 46. Potencia estabilizada con respecto al objeto a 0.6m	74
Figura 47. Se muestra detallada la posición a 1.2 m	74
Figura 48. Potencia recibida (-36,184 dBm).....	75
Figura 49. Durante estabilización de la Potencia recibida.....	75
Figura 50. Estabilización de la Potencia recibida (-37.0655 dBm).....	76
Figura 51. Se muestra detallada la posición a 1.8 m	76
Figura 52. Potencia recibida (-42,0057 dBm).....	77
Figura 53. Proceso de estabilización Potencia (-41.522 dBm).....	77
Figura 54. Estabilización de la Potencia recibida (-41.5523 dBm).....	78
Figura 55. Inicio de Velocidad.....	78
Figura 56. Durante las pruebas de Velocidad	79
Figura 57. Máxima Velocidad alcanzada	79
Figura 58. Ubicación de Antenas Tx y Rx.....	84
Figura 59. Conexiones de NI - USRP 2920, cable MIMO, cable ETHERNET y cable coaxial	85
Figura 60. Obstáculo con rieles	85
Figura 61. Conexión a Laptop, prácticas de laboratorio	86
Figura 62. Gráfica de la prueba en el Lab. de Telecomunicaciones.....	87
Figura 63. Gráfica de pruebas en el pasillo del bloque B.....	88
Figura 64. Gráfica de pruebas realizadas en escenario 3.....	89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bandas de frecuencia del Radares (Alvaréz & Shagñay, 2015)	27
Tabla 2. Funcionamiento de entradas de NI-USRP2920 (INSTRUMENT).....	45
Tabla 3. Descripción de indicadores LED de NI-USRP 2920 (INSTRUMENT)	46
Tabla 4. TX y RX NI-USRP 2920 (INSTRUMENT).....	47
Tabla 5. Medición de distancia por medio de software LabVIEW	56
Tabla 6. Datos obtenidos de pruebas dentro del Lab. de Telecomunicaciones	87
Tabla 7. Datos obtenidos en prueba del pasillo del bloque B.....	88
Tabla 8. Datos obtenidos en prueba del escenario 3.....	89

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo trata sobre prototipo de pruebas de un radar, enfocado para convertirse en herramienta de aprendizaje e investigaciones para los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica, de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó el “software LabVIEW”, permitiendo probar los “VIs” que ofrece para el análisis de señales.

Las pruebas para determinar la distancia se realizaron por medio de sumatoria de Potencia y empleando el modelo matemático de regresión lineal, permitió llegar a determinar la ecuación para el prototipo de radar.

La velocidad fue determinada con ayuda del “Frequency offset” y utilizando la fórmula de velocidad de un objeto detectado por radar, basándose en este resultado también permite la demostración del efecto Doppler en los radares.

El “software” permite la configuración de parámetros como la modulación, ganancia, potencia y toma de datos, con ello se realiza el análisis para cada punto en que se coloca el obstáculo para obtención y demostración de resultados con datos reales.

Para el prototipo de pruebas se implementó de forma física dos antenas Patch directivas, dos cables coaxiales con sus conectores N y sma a sus extremos y dos NI-USRP 2920 conectados con extensión MIMO respectivamente, configurados para la transmisión y recepción.

La importancia de este proyecto permite el desarrollo y aplicación de conocimientos en el área de las Telecomunicaciones para ponerlos en práctica en conjunto con estos equipos de radio frecuencia, en temas de absoluta investigación.

1.1. Descripción del problema

A pesar de que, en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil contiene equipos a nivel de radiofrecuencia, estos no son utilizados al máximo para sacar provecho a los conocimientos en los cuales se pueda desarrollar aplicaciones que continúen con el mejoramiento académico. En un ámbito educativo en la actualidad no

se cuenta con prototipos de pruebas que le permitan al estudiante ampliar sus aprendizajes adquiridos durante la etapa de estudio y así poder realizar pruebas o practicas empleando dicha tecnología con equipos USRP en el área de las Telecomunicaciones. Este proyecto es una forma de contribuir en el aprendizaje y que el estudiante pueda aclarar los conceptos sobre las aplicaciones de materias de Telecomunicaciones, las cuales son empleadas en el desarrollo del proyecto. Si bien es cierto, un sistema radares es de alto costos; el fin de proveer un prototipo de pruebas de un radar es utilizar equipos de radio definido por software (USRP-2920) bajo el manejo del software LabVIEW, les permitirá a los estudiantes analizar, observar y comprender mediante las prácticas, el comportamiento de la señal recibida ante el choque con un objeto y así poder calcular su distancia, demostrar el efecto Doppler con la velocidad.

1.2. Antecedentes

La Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, requiere de un prototipo para pruebas y aplicaciones de radar que le permitan al estudiante realizar prácticas o pruebas acerca del estudio de los radares, en el cual se puede plasmar conocimientos adquiridos en el área de las Telecomunicaciones. Por lo tanto, este proyecto es una forma de aportar en el aprendizaje y discernimiento de los conceptos que se aplican al momento del estudio del funcionamiento de un radar; dando la pauta para que nuevas investigaciones que se puedan seguir desarrollando. Para determinar el problema se ha hecho un análisis de escenarios, proporcionando un prototipo de pruebas que mediante algoritmos permiten medición de distancia basándose en la potencia recibida, el efecto Doppler debido al desplazamiento de frecuencia se puede comprobar la velocidad de un objeto, por medio del software LabVIEW en conjunto con los USRP (USRP – Universal Software Radio Peripheral).

1.3. Importancia

Después de haber realizado las pruebas relacionadas y obtener los resultados debidos acorde a la investigación sobre radares y prototipos, el proyecto se cataloga a ser una herramienta para estudiantes y docentes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, de la carrera de Ingeniería Electrónica. Luego de la presentación del proyecto se da la posibilidad de continuar con el desarrollo de nuevas aplicaciones y mejoras, tanto en la parte del software como en el hardware utilizando en el procedimiento LabView, USRP, antenas, etc., en las materias de Telecomunicaciones.

1.4. Alcance

La Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, a pesar que tiene una diversidad de equipos, existen algunos que se podrían aprovechar al máximo para diferentes tipos de aplicaciones para las materias de Telecomunicaciones.

La oportunidad de proveer el diseño de radar por software, facilitará el aprovechamiento y manipulación del USRP 2920 para la formación profesional de la carrera de Ingeniería Electrónica con el fin de realizar prácticas en el uso experimental de un radar cuyo objetivo es aprovechar las frecuencias existentes dentro del rango del equipo a utilizarse.

1.5. Delimitación

1.5.1. Delimitación Temporal

El tiempo de estudio del proyecto se lo realizará en el año 2015-2016.

1.5.2. Delimitación Espacial

El prototipo de pruebas se lo usara en el bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil.

1.5.3. Delimitación Académica

- Se desarrollarán 5 prácticas de amplio alcance e iniciativa para el uso de los equipos radio USRP2920.
- El prototipo de pruebas tiene alcance para materias de la carrera Ingeniería Electrónica como, por ejemplo, medios de transmisión, antenas, señales y sistemas.
 - Los elementos a usar son:
 - ✓ 2 antenas Patch Indoor
 - ✓ 2 USRP 2920 de la National Instruments
 - ✓ 1 cable para conexión MIMO
 - ✓ 2 cables coaxiales
 - ✓ 1 laptop con software LabView
 - ✓ 1 objeto con su estructura (rieles) para la demostración de pruebas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Diseñar un prototipo de pruebas de un radar usando radio definido por software mediante la herramienta “LabVIEW”, a ser implementarlo a nivel práctico educativo en el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil.

2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un prototipo de radar monoestático de onda continua con el USRP2920 y LabView para pruebas en el bloque B de la UPS.
- Definir los escenarios de funcionamiento para el prototipo radar a ser implementado utilizando el USRP2920 y LabView.
- Seleccionar las antenas adecuadas para el prototipo radar analizando las especificaciones técnicas y compatibilidad con el USRP 2920.
- Realizar pruebas basándose en el modo de operación del radar para medir rango y velocidad.
- Diseñar un banco de 5 prácticas para el prototipo radar en LabView.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1. Radar

El radar es un sistema electromagnético para la detección y localización de objetos. Opera a partir de la transmisión de un tipo de onda particular, por ejemplo, un seno modulado pulsado, detectando la naturaleza del eco de la señal. La peculiaridad más importante de esta clase de dispositivos es que pueden medir la distancia o rango hasta el objeto en cuestión. Una forma elemental de radar consiste en una antena transmisora que emite radiación electromagnética generada por algún tipo de oscilador, una antena receptora y un dispositivo detector de energía o receptor.

Una porción de la señal transmitida es interceptada por un objeto reflectante y la misma es retrasmiteda en todas direcciones. La energía que se retrasmite en la dirección de vuelta al radar es la de interés. La antena receptora recibe la energía devuelta y la envía al receptor, donde se procesa para detectar la presencia del objeto, extrayéndose su localización y velocidad relativas.

La distancia al objeto se determina mediante la medición del tiempo empleado por el pulso desde que este es emitido hasta que se recibe de vuelta reflejado por el objeto. La dirección o posición angular del objeto se determina a partir de la dirección de llegada del frente de ondas reflejado. Si existe un movimiento relativo entre el objeto y el radar, la modulación en frecuencia de la portadora de la onda reflejada (causada por el efecto Doppler) es una medida de la velocidad relativa del objeto, pudiendo ser utilizado este efecto para la distinción entre objetos en movimiento y estáticos. (Lopez, 2011)

3.2. Clasificación Sistema Radar

Los sistemas radar se pueden caracterizar en función de una serie de aspectos básicos.

3.2.1. Número de antenas:

En función del número de antenas distinguimos entre estos tres tipos de sistemas radar:

Monoestático: Una sola antena transmite y recibe.

Radars Pseudo-monoestáticos: Aquellos que, aun teniendo las antenas de transmisión y de recepción separadas, el ángulo subtendido entre el transmisor y el receptor de destino es cercano a cero (emisor y receptor están cerca unos de otros) de manera que en este caso se vuelve al escenario de un radar monoestático.

Biestático: Una antena transmite y otra recibe, en el mismo o diferente emplazamiento.

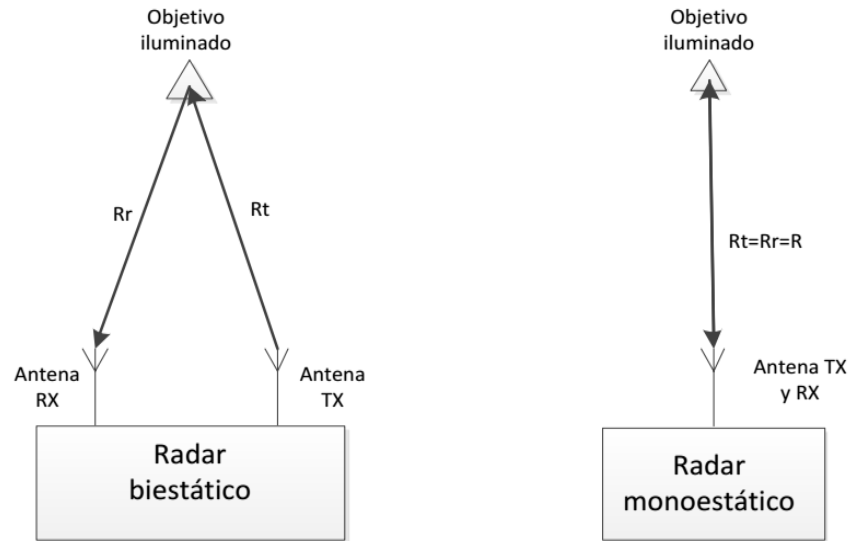


Figura 1. Diseño general Radar Biestático y Radar Monoestático (Vargas, 2014)

Una de las posibles clasificaciones de los sistemas radar se basa en la ubicación (y número) de las antenas transmisora y receptora.

De esta forma, los radares biestáticos son aquellos en los que la antena transmisora y la receptora están separadas, mientras que los radares monoestático son aquellos en los que transmisor y receptor están en el mismo lugar.

Multiestático: Combina la información recibida por varias antenas. En estos radares existen un receptor y dos transmisores, dos transmisores y un receptor o varios transmisores y receptores.

Radars de dispersión total: Configuración para que la detección se produzca cuando los blancos pasen entre el transmisor y el receptor, es decir, con un ángulo biestático cerca de 180° . Ideal para detección de aviones stealth (que utilizan tecnologías

de invisibilidad), sin embargo, el seguimiento es muy difícil y la información en medición de distancia, demora y Doppler es muy inexacta debido al movimiento de los blancos.

Radares pasivos: Utilizan la información de emisores que no pertenecen al propio radar, pueden ser biestáticos o multiestáticos. (León, 2014 - 2015)

3.2.2. Según el blanco

Radar primario: PSR (Primary Surveillance Radar): transmite ondas electromagnéticas, la duración de los tiempos es corta. Las ondas se reflejan sobre los objetos en los que choca y son captadas de nuevo por el sistema PSR, de esta manera se obtiene una señal de retorno.

Radar secundario: de vigilancia SSR (Secondary Surveillance Radar): envía una señal codificada que solicita la identificación del objeto. La respuesta del objeto se da al poseer un dispositivo que trasmite y responde, permitiendo el procesamiento y transmisión de señales codificadas.

Los tipos de radar primario requieren de un transmisor y un receptor para la detección del objeto, se utilizan para búsqueda y vigilancia. Los radares secundarios además de un transmisor y receptor requieren un transponder (dispositivo que permite transmitir y responder), permitiendo utilizarse en el control de tráfico aéreo comercial. (Alvaréz & Shagñay, 2015)

3.2.3. Forma de onda

Se pueden distinguir dos grandes grupos.

Radar de onda pulsada: Envía señales en ráfagas muy cortas (millonésimas de segundo) pero de potencia en el orden de kilovatios lo cual los hace relativamente grandes.

Dentro de estos radares de onda pulsada nos podemos encontrar con aquellos que tienen una Frecuencia de Repetición de Pulsos (o PRF) baja, media o alta.

Los radares con una PRF baja son utilizados principalmente para medir distancias de blancos, en los cuales, su velocidad radial no es de interés. Los radares

que trabajan con una PRF alta son mayoritariamente usados para medir velocidad. (León, 2014 - 2015)

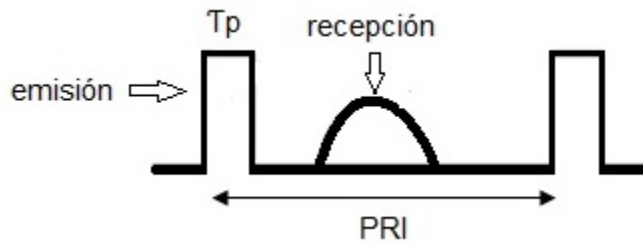


Figura 2. Radar de pulso

Radar de onda continua (CW): Los radares de onda continua, utilizan señales continuas en vez de ráfagas cortas.

En este tipo de radar, la posibilidad de medir la distancia del blanco está ligada al ancho de banda. Si se requiere estimar tanto la velocidad como la distancia del blanco es preciso introducir una modulación en la señal radiada. (Vargas, 2014)

Utilizan antenas separadas para receptor y transmisor. Los radares de Onda Continua pueden medir de una forma precisa la velocidad radial (cambio aparente en frecuencia) y la posición angular del blanco. El principal uso de los radares de onda continua sin modulación es búsqueda y seguimiento de blancos móviles así como el guiado de misiles. (León, 2014 - 2015)

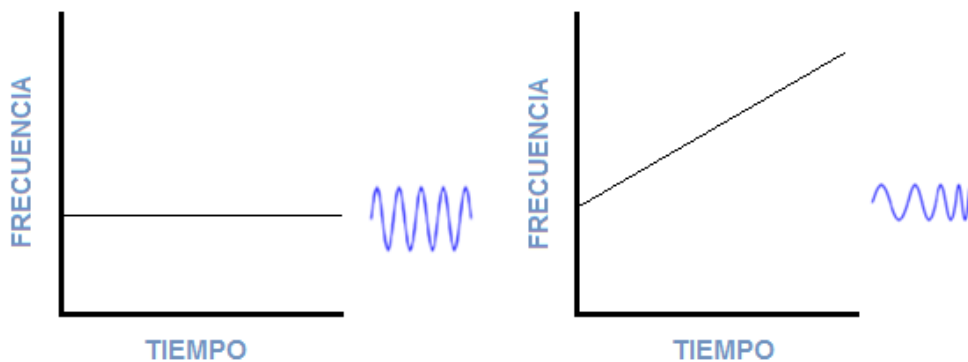


Figura 3. Pulso a una sola frecuencia (izquierda) Pulso con frecuencia cambiante (derecha)

Las ondas que se utilizan en el radar tienen las siguientes características:

- Son direccionales: se concentran y dirigen en una dirección determinada.

- Poseen velocidad constante: aprovechan la medición de distancias.
- Se reflejan: empleada en la detección de objetos.

3.2.4. Según su finalidad

Radar de seguimiento: tiene la capacidad de seguir el movimiento de un objeto.

Radar de búsqueda: se muestra los blancos u objetos que explora en todo el espacio. (Bustillos, 2016)

3.2.5. Frecuencias de Radar

La frecuencia en el que radar trabaja son diferentes y depende de la aplicación en el que el sistema radar vaya a operar. A continuación, se muestra las bandas asignadas por la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos):

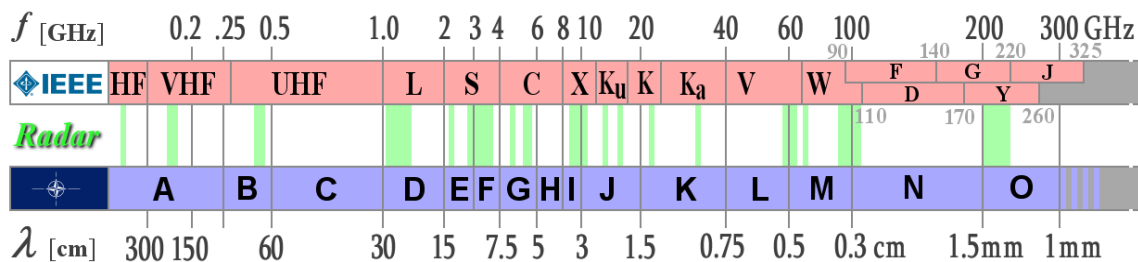


Figura 4. Frecuencias de Radares (Alvaréz & Shagñay, 2015)

Las frecuencias para las bandas VHF, UHF y L, se utiliza para radares de exploración y búsqueda. Seguidamente en las frecuencias L, S, C, se aplica para búsqueda y seguimiento de objetos. En la banda C y X permite controlar el fuego y obtener imágenes. Finalmente, en las frecuencias X, Ku, K, Ka y W, trabajan para la detección de misiles.

Tabla 1. Bandas de frecuencia del Radares (Alvaréz & Shagñay, 2015)

Designación de Frecuencias	Rango de Frecuencias en GHz (Estándar IEEE)	Rango de Frecuencias en GHz (Estándar IEEE)
HF	0.003 - 0.03	A
VHF	0.03 – 0.3	A < 0.25; B > 0.25
UHF	0.3 – 1.0	B < 0.5; C > 0.5
Banda L	1.0 – 2.0	D
Banda S	2.0 – 4.0	E < 3.0; F > 3.0
Banda C	4.0 – 8.0	G < 6.0; H > 6.0
Banda X	8.0 – 12.5	I < 100; J > 10.0
Banda Ku	12.5 – 18.0	J
Banda K	18.0 – 26.5	J < 20.0; K > 20.0
Banda Ka	26.5 – 40.0	K
V & W o MMW	Normal > 34.0	L < 60.0; M>60.0

3.3. Modulaciones en Radares

En esta sección se hace referencia a la modulación que se usa en el presente proyecto.

3.3.1. Modulación de Frecuencia

Modular en frecuencia una señal significa variar su frecuencia de acuerdo a la variación de amplitud de una señal modulante.

Se produce la señal de FM a partir de la portadora y la señal modulante. Se observa que la frecuencia de la señal FM incrementa cuando el voltaje de la señal modulante aumenta y viceversa.

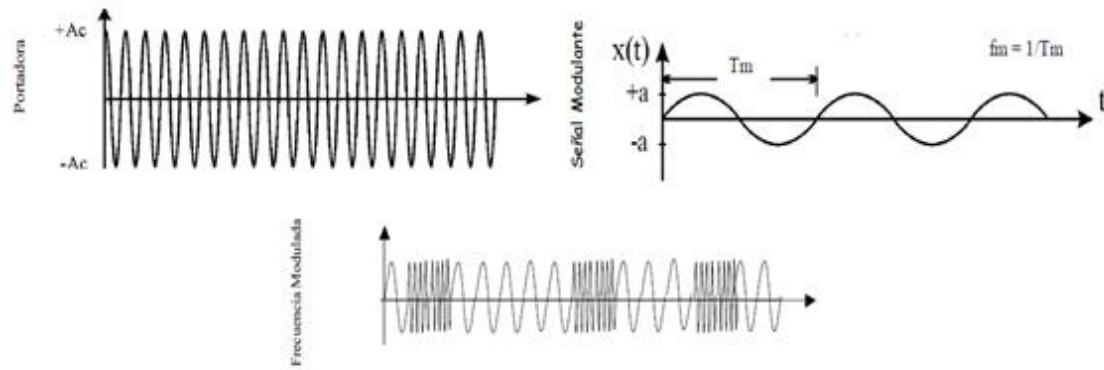


Figura 5. Señales FM en el dominio del tiempo (Arrambi, 2005)

3.3.2. Modulación QPSK

Quaternary Phase Shift Keying (QPSK) esta técnica de modulación cuenta con cuatro posibles estados de fase, cada fase combina un par de bits y su rapidez en los cambios de salida (baudios) es igual a la mitad de la rapidez de la entrada de los bits.

A pesar de que sus símbolos tienen una menor distancia vectorial que BPSK, QPSK sigue siendo sumamente resistente a errores; es por esto que suele usarse en aplicaciones satelitales, en sistemas de telefonía celular y en sistemas de comunicación común.

Los *I/Q modulators*, un bit es usado en el canal *I*, este modula una portadora enfasada; mientras que el bit *Q* modula una portadora que está desfasada 90° respecto a la anterior. (Juárez, 2016).

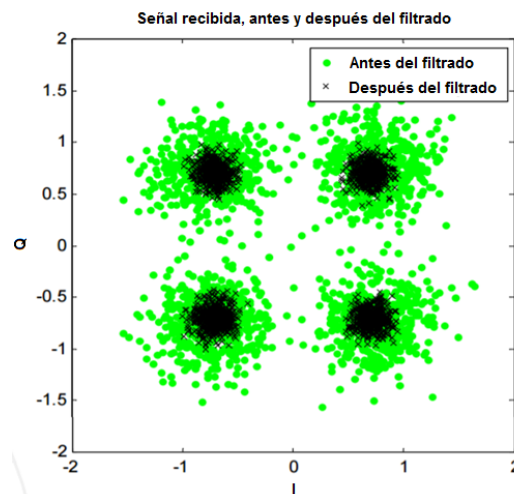


Figura 6. Moduladores I “IN- PHASE”/Q “QUADRATURE”(Calvo & Martínez, 2008)

3.3.3. PSK (Phase Shift Keying) /Cambio de fase

Las modulaciones por frecuencia y fase están relacionadas por ser sistemas de modulación angular con amplitud constantes (cambio constante de frecuencia de 1 Hz, esto implica que la fase está avanzando a una velocidad de 360 grados por segundo). A pesar de ser más resistente a las degradaciones que afectan a ASK y de no tener las limitaciones de ancho de banda de FSK, PSK se ve limitado por el número de fases que un equipo puede detectar, siendo que éste factor limita su Bit Rate potencial.

Hay varios formatos de PSK, éstos suelen clasificarse en dos grupos distintos:

Modulaciones PSK convencionales, en donde la información es definida por el estado propio de la fase.

Sistemas Differential PSK, en donde son los cambios de estado los que define la información.

3.3.4. BPSK (Binary Phase Shift Keying)/Codificación de desplazamiento de fase binaria

Esquema de modulación convencional en el que se tienen dos posibles fases de salida, también conocido como Phase Reversal Keying (PRK). El esquema de modulación con cambios de 180°, produciendo cada bit, un símbolo particular sobre una portadora definida (I o Q). Para el caso particular de BPSK, la probabilidad de bit de error es:

$$P_{e_{bit/BPSK}} = Q\left(\sqrt{\frac{2E_S}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_S}{N_0}}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}Q\left(\sqrt{\frac{2E_S}{N_0}}\right) \quad (3.1)$$

La probabilidad de bit de error es la misma para BPSK y para QPSK (considerando únicamente un canal con ruido blanco aditivo gaussiano o AWGN).

3.3.5. QAM (Quadrature amplitude modulation)/Modulación de amplitud de cuadratura

La modulación digital por amplitud en cuadratura contiene la información digital tanto en la amplitud como en la fase de la portadora que se transmite, se combina las

técnicas de modulación ASK y PSK. Se modulan dos portadoras con un desfase de 90°, independientes entre sí, en los “I/Q Modulators”.

La modulación QAM está dividida en dos; esquemas rectangulares y no rectangulares. Los rectangulares modifican la amplitud y fase de los símbolos a fin de emular un rectángulo o un cuadrado en la constelación. Los no rectangulares representan cualquier otra figura.

Pueden llegar a codificar de 2 a 8 bits por símbolo en los sistemas prácticos QAM, dependiendo de la cantidad de energía que se desea emplear. Los esquemas 16 y 32 QAM son ampliamente usados en módems, enlaces digitales de radio y sistemas DVB-T, mientras que los de orden mayor (64-QAM a 256-QAM) son empleados en DVB-C.

Al tener un valor mínimo de bits codificados (2 bits), la modulación 4-QAM comparte la misma representación que la constelación QSPK; sin embargo, para una misma tasa de error la modulación PSK requiere una cantidad menor de potencia transmitida que la empleada por su homóloga en QAM. (Bustillos, 2016)

3.3.6. Resolución del Prototipo

Para poder obtener el valor de la mínima variación de detección de la posición de un objeto, es necesario considerar la relación que existe entre el ancho de banda, la frecuencia de muestreo y la frecuencia máxima. Dada por:

$$f_s = 2 * f_{max} = B \quad (3.2)$$

Donde la exactitud de la distancia:

$$e_d = c * t_s \quad (3.3)$$

$$t_s = \frac{1}{f_s} \quad (3.4)$$

$$e_d = \frac{c}{2 * f_{max}} \quad (3.5)$$

Obteniendo:

$$e_d = \frac{c}{B} = \frac{c}{2 * f_{max}} \quad (3.6)$$

Siendo el valor de la resolución del prototipo.

Distancia máxima

La medición de la distancia es determinada por el intervalo de tiempo entre la transmisión de la señal y la recepción de la misma. La distancia máxima teórica para objetos estáticos a la que puede ser llegar la señal recibida en el prototipo radar es:

$$d_{max\text{teorica}} = \frac{c * t_f}{2} \quad (3.7)$$

Siendo t_f el tiempo final.

Velocidad y Doppler

Expresión de Frecuencia Doppler:

$$f_D = f_R - f_T = \frac{2vf_T}{c - v} \cong \frac{2vf_T}{c} \quad (3.8)$$

Una vez que se conoce la frecuencia de la transmisión y la frecuencia Doppler, se determina la velocidad del objeto.

$$v = \frac{cf_D}{2f_T} \quad (3.9)$$

3.3.7. Factores que afectan el funcionamiento del Radar

3.3.8. Distancia de detección

Frecuencia: Si un radar trabaja a frecuencias más altas, mayor es la atenuación o pérdida de energía, esto sucede durante su propagación. Mientras las frecuencias sean más bajas, o sea con longitudes de onda más grandes, los resultados son mejores en cuanto a grandes distancias.

Energía transmitida: Para la detección de un objeto depende de la energía que es reflejada en un blanco y regresa a la antena. Si se incrementa la potencia de salida mejora la detección.

Forma del haz: Directivo o más concentrado es el haz, mayor es la detección del radar en distancia. Ello sucede cuando el haz del emisor es estrecho, en el sentido horizontal como en el sentido vertical.

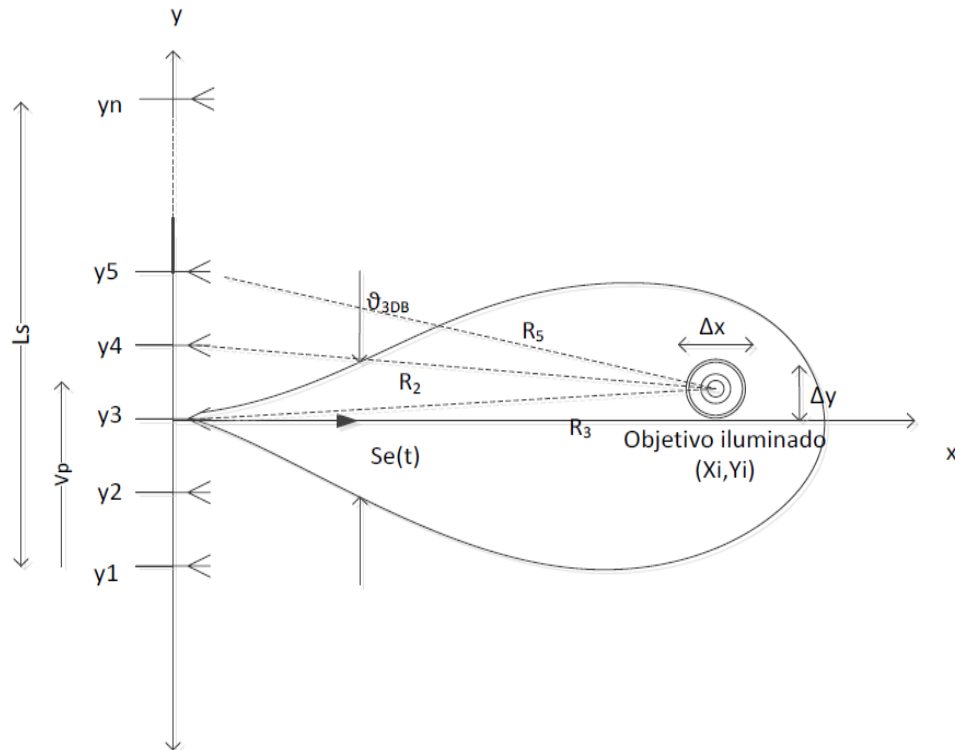


Figura 7. Observación por el Radar desde diferentes posiciones a lo largo de la trayectoria (Vargas, 2014)

Sensibilidad del receptor: Mientras el receptor sea más sensible mayor será el alcance de detección, es por eso que se debe ajustar a la frecuencia con la que la onda es regresada, aunque sea levemente diferente a la emitida.

Velocidad de rotación de la antena: Mientras más lenta gira la antena mayor es su alcance, motivo de que mayor cantidad de pulsos inciden en el blanco.

Ganancia del receptor: Al disminuir la ganancia del receptor se puede lograr una mejor discriminación de distancia.

Tamaño del blanco: Cuanto más pequeño es el blanco más precisa será la medición de marcación que se tome.

Movimiento del blanco: Los blancos con movimientos relativos o que se desplacen a velocidades bajas, podrán ser medidos con mayor precisión.

Alienación de la antena: Las antenas deben estar alienadas en todo momento, con la mayor exactitud ya que de no estarlo, esto genera un error en marcación. (Piedra, 2007)

3.4. Factores externos al radar que afectan a la detección

3.4.1. Características del blanco

Las características de los blancos influyen en que unos se puedan detectar a más distancia que otros, así igual su tamaño y distancias hacen que se vean más intensos, detallados a continuación:

Alturas del obstáculo o blanco: Debido a que las ondas de propagación de un radar son en línea recta, la altura en que se encuentra el blanco es importante para determinar la distancia a la misma que va a ser detectado.

Tamaño: Si el obstáculo presenta una superficie de reflexión grande, dará ecos más grandes.

Aspecto: Se determina aspecto de un obstáculo al ángulo que forma con el haz del radar. Si este cambia de aspecto, la superficie que presenta cambia para reflejar las ondas, mientras más cercano a 90° sea el ángulo el eco que produce será mayor.

Forma: Los obstáculos de igual forma generan ecos de diferente intensidad, depende del aspecto que presenten los mismos. Si los blancos tienen forma cóncava, las ondas reflejadas se concentrarán en la antena, mientras que los blancos de forma convexa las ondas se dispersarán.

Textura: La textura de un objeto puede influir en modificaciones los efectos de la forma y el aspecto. Si la textura es plana tendrá buenas cualidades para la reflexión, sin embargo, puede no tener buenos resultados en cuestión de ecos si no es el aspecto adecuado. Textura rugosa mejora el eco de un objeto que no tenga un aspecto bueno.

Composición: Diferentes sustancias habilitan el reflejar las ondas de radar, sin embargo, depende de sus cualidades eléctricas intrínsecas. El metal y el agua presentan buenos ecos. (Piedra, 2007)

3.5. Ventajas y desventajas

Las principales ventajas de los radares biestáticos y multiestáticos respecto a los monoestático son:

- Un bajo coste de adquisición y mantenimiento.
- El receptor puede operar y ponerse en marcha con independencia del transmisor.
- Los efectos geométricos de la RCS le afectan en menor medida.

Los mayores inconvenientes son debidos a:

- La complejidad de estos sistemas.
- La comunicación entre los emplazamientos de los sistemas genera costes adicionales.
- El receptor pasivo depende de un tercer emisor.
- Implementación compleja. (León, 2014 - 2015)

3.6. Filtro de transmisión y recepción

En una transmisión digital los cambios radicales de amplitud, fase o frecuencia provocan componentes espectrales de alta frecuencia, este fenómeno causa la superposición de símbolos adyacentes (interferencia entre símbolos o ISI). Para evitar dicha interferencia las señales por lo general son sometidas a un proceso de filtrado. Existen dos tipos de filtros; Respuesta infinita al impulso y los Respuesta de impulso finito. Los FIR (respuesta de impulso finito) son implementados en la mayor parte de los dispositivos basados en DSP y FPGA (para el caso de los USRP).

En los sistemas de telecomunicaciones actuales, los más usados son los Gaussianos y los filtros paso bajo de Nyquist, contienen la propiedad de tener simetría dependiente de Symbol Rate (velocidad de símbolo); los filtros Coseno elevado o Raised cosine (RC) y Coseno de raíz elevado o Root Raised cosine (RRC) son ejemplos de

filtros paso bajo de Nyquist, cuya respuesta en el tiempo llega a cero en un período correspondiente al espacio entre símbolos.

La principal ventaja de los filtros Nyquist con los Gaussianos, es la implementación en los transmisores y en receptores, pudiendo trabajar conjuntamente. Este filtro en el transmisor reduce la potencia adyacente radiada, por otro lado, el filtro del receptor reduce efectos del ISI debido al ruido y a las multitrayectorias generadas en la transmisión. Por otra parte, los filtros Gaussianos tienen la ventaja de consumir una menor cantidad de potencia y además por su estructura permite la implementación sencilla de sistemas de recuperación de reloj.

Matemáticamente, la función que define el comportamiento en la frecuencia de los RRC, está dada por:

$$H(f) = \begin{cases} 1 & \text{for } |f| \leq \frac{(1-\alpha)}{2T_s} \\ \cos \frac{\pi T_s}{2\alpha} \left[|f| - \frac{(1-\alpha)}{2T_s} \right] & \text{for } \frac{(1-\alpha)}{2T_s} \leq |f| \leq \frac{(1+\alpha)}{2T_s} \\ 0 & \text{for } |f| > \frac{(1+\alpha)}{2T_s} \end{cases} \quad (3.10)$$

Para los RC, el coseno de la ecuación anterior debe ser elevado al cuadrado.

Las frecuencias de estos dos filtros Nyquist depende intrínsecamente del Symbol Rate (R_s) y del factor α llamado factor de caída que define un valor cuantitativo de la razón del ancho de banda de Nyquist (W) sobre el ancho de banda utilizado (W_0).

$$R_s = \frac{1}{T_s} \text{ y } \alpha = 1 - \frac{W}{W_0} \quad (3.11)$$

El ancho de banda del primer lóbulo generado por un pulso cuadrado, que tiene el 90% de la potencia total de la señal, es igual a R_s en banda base. En la sección de RF o frecuencias "bandpass", el ancho del lóbulo se incrementa hasta $2R_s$.

La segunda ecuación el valor α sería igual a cero, si este tuviera un filtro perfecto con una caída vertical exacta. En el caso del procesamiento en banda base de la señal, el ancho de banda equivalente sería R_s . Este resultado es imposible de implementar. (Bustillos, 2016)

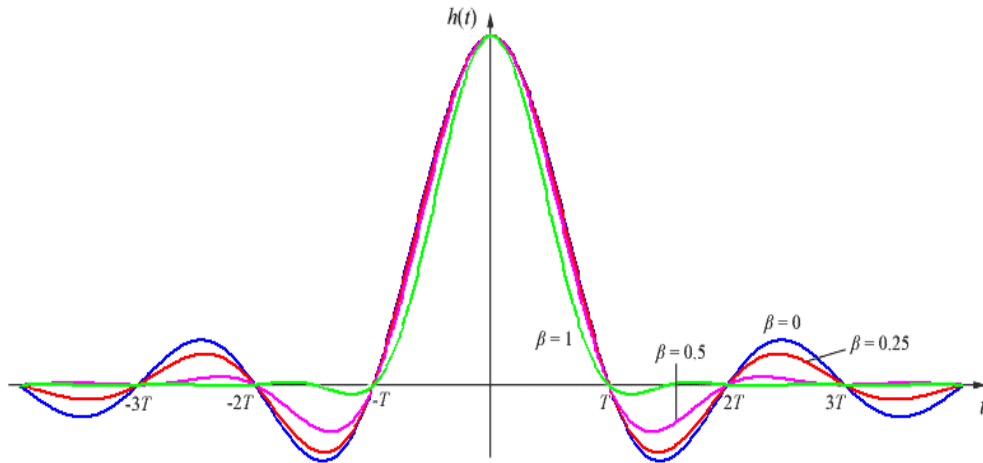


Figura 8. Respuesta al impulso de filtro RRC (Rs normalizada)

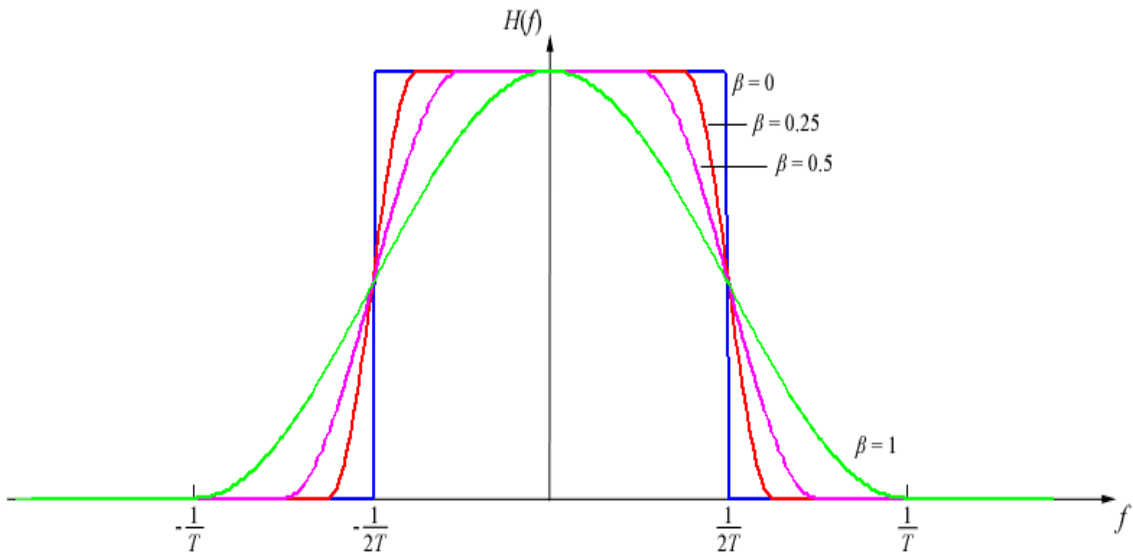


Figura 9. Respuesta de frecuencia del filtro RRC

3.7. Regresión Lineal

Modelos predictivos o de regresión: la representación de la relación entre dos o más variables a través de un modelo formal supone contar con una expresión lógico-matemática. Aparte de resumir cómo es esa relación, permite realizar predicciones a los valores que tomará una de las dos variables, (la que se asuma como variable de respuesta, dependiente, criterio o Y) a partir de los valores de la otra (la que se asuma como variable explicativa, independiente, predictora o X).

En estadística se han planteado diferentes tipos de modelos predictivos que han dado respuesta a las características (escala de medida, distribución...) de las variables que pueden aparecer implicadas en un determinado modelo. El más conocido es el modelo de regresión lineal (variable de respuesta cuantitativa), si bien, otras opciones a tener en cuenta son el modelo de regresión logística (variable de respuesta categórica) o el modelo de Poisson (variable de respuesta cuantitativa con distribución muy asimétrica), entre otros.

Concepto básico de regresión lineal

Una generalización de este modelo, el de **regresión lineal múltiple**, permite considerar más de una variable explicativa cuantitativa. Es también posible incluir variables explicativas categóricas en un modelo de regresión lineal si se sigue una determinada estrategia en la codificación de los datos conocida como codificación ficticia.

En concreto, según el modelo de **regresión lineal simple**, las puntuaciones de los sujetos en 2 variables; una de ellas considerada como variable predictora (X) y la otra como variable de respuesta (Y)- vienen representadas (modeladas) por la ecuación de una línea recta:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 \quad (3.12)$$

Cuando hay más de una variable explicativa (modelo de regresión lineal múltiple), se utiliza un subíndice para cada una de ellas, por ejemplo, para el caso de dos variables explicativas:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 \quad (3.13)$$

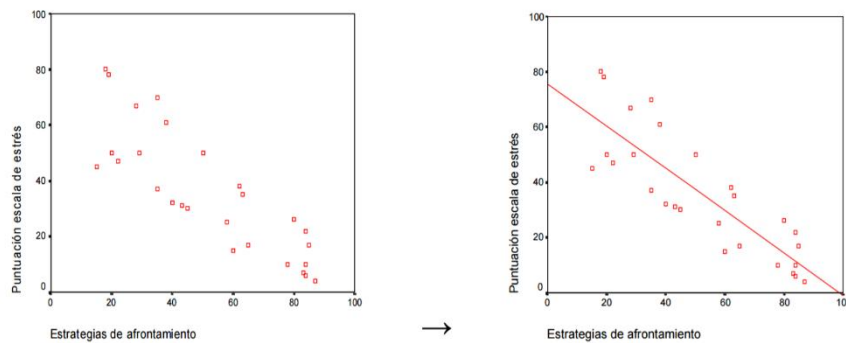


Figura 10. Recta de regresión

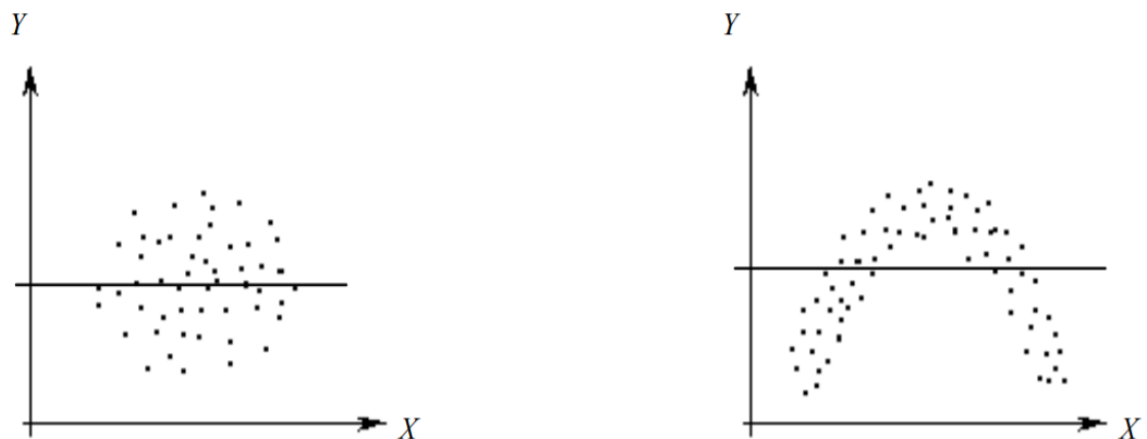
Los dos parámetros de la ecuación de regresión lineal simple, β_0 y β_1 , son conocidos como el origen (también, constante) y la pendiente del modelo, respectivamente. En conjunto reciben el nombre de coeficientes de la ecuación de regresión. Si la ecuación de la recta de regresión es obtenida a partir de una muestra, y no de una población. Esto es, los coeficientes de la ecuación de regresión son estadísticos, y no parámetros, la ecuación se expresa como:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 \quad (3.14)$$

Una vez que sean conocidos los valores de β_0 y β_1 del modelo de regresión lineal simple, éste puede ser utilizado como modelo predictivo, esto es, para realizar predicciones de los valores que tomará la variable de respuesta para determinados valores de la variable explicativa.

Ajuste del modelo de regresión

Se refiere al grado en que éste es conveniente como modelo que representa a las variables implicadas en el mismo. Al ajustar un modelo de regresión lineal simple a la distribución conjunta de 2 variables obtendremos la mejor recta de regresión de entre todas las posibles que se pueden ajustar a esa distribución, ahora bien, ello no significa que sea buena como modelo que represente a ambas variables. Así, puede ocurrir que la distribución conjunta de 2 variables sea difícil de modelar debido a la inexistencia de relación entre las variables o bien, que el modelo de regresión lineal no sea el más adecuado para ese propósito. (Molina & Rodrigo, 2009)



**Figura 11. Ausencia de relación (izquierda)
Relación no lineal (derecha)**

Existen diferentes aproximaciones en la evaluación de la bondad del ajuste de un modelo a la realidad que ese modelo pretende representar.

3.8. Antena

La antena es la encargada de radiar el campo electromagnético en un sistema de radar. Los radares pueden utilizar una sola antena, dos antenas o un arreglo de antenas. Además, las antenas utilizadas en los radares requieren que sean directivas y ganancia altas, pero no necesarias para el prototipo del proyecto al no ser usado en espacios abiertos.

3.8.1. Área equivalente de absorción

Los sistemas radar utilizan antenas direccionales que les permita incrementar la densidad de potencia en una cierta dirección. La antena receptora absorbe potencia del frente de onda que pasa por ella, para entregarla al receptor. Mientras más grande es la antena, absorbe más potencia y cubre un área más grande.

$$A_{eq} = \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} G_R \quad (3.15)$$

Donde:

λ : Longitud de onda de la onda, en m.

A_{eq} : Área equivalente de absorción, en m^2 .

G_R : Ganancia de la antena receptora.

Es más eficiente la antena para absorber potencia desde una dirección que desde otra, por tanto, que la antena receptora tiene ganancia, y la potencia que absorbe depende de su tamaño físico y su ganancia.

3.8.2. Densidad de potencia

La densidad de potencia sería la potencia radiada o transmitida entre el área de la superficie de una esfera; siendo el ejemplo si se dibujara una esfera concéntrica al radiado, toda la energía radiada pasaría por la superficie de la esfera. La potencia se dispersa sobre una superficie más grande a medida que aumenta la distancia.

Para determinar la densidad de potencia se aplica:

$$S_i = \frac{P_T}{4\pi r^2} \quad (3.16)$$

Donde:

S_i = densidad de potencia, en W/m^2 .

P_T = potencia radiada o transmitida, en W.

r = distancia radial desde el radiador, en m.

3.8.3. Diagramas de radiación o patrón de radiación

El diagrama de radiación o patrón de radiación es la representación gráfica de la intensidad de los campos o densidad de potencia en diferentes posiciones angulares de la antena que se quiere medir. El lóbulo principal es el lóbulo que contiene la máxima intensidad de radiación, lóbulo menos representa la radiación y direcciones no deseadas, son mínimas y los lóbulos laterales son los picos más pequeños, una parte de esta energía es radiada en otras direcciones.

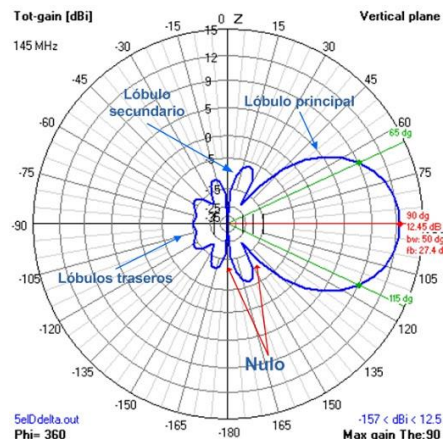


Figura 12. Patrón de radiación

3.8.4. Ancho del Haz

El ancho del haz es un parámetro de las antenas ligado al patrón de radiación que representa la distancia entre dos puntos de la mitad de potencia en el lóbulo mayor del diagrama de radiación, es (-3 dB).

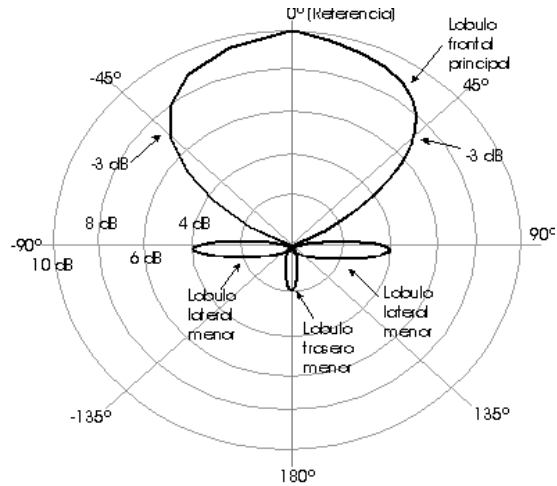


Figura 13. Ancho del haz

3.8.5. Polarización

La polarización de una antena hace referencia a la orientación del campo eléctrico de una onda electromagnética con respecto a la superficie de la tierra.

La polarización lineal, se mantiene en el mismo plano del eje de la antena todo el tiempo. Existen dos formas de polarización lineal, cuando el campo eléctrico se irradia paralelamente a la superficie de la tierra, es una polarización horizontal, está la polarización tiene menos posibilidades de receptor interferencias que una polarización vertical. Cuando el campo eléctrico se irradia perpendicularmente a la superficie de la tierra se dice que la polarización es vertical. (Zuñiga, 2014)

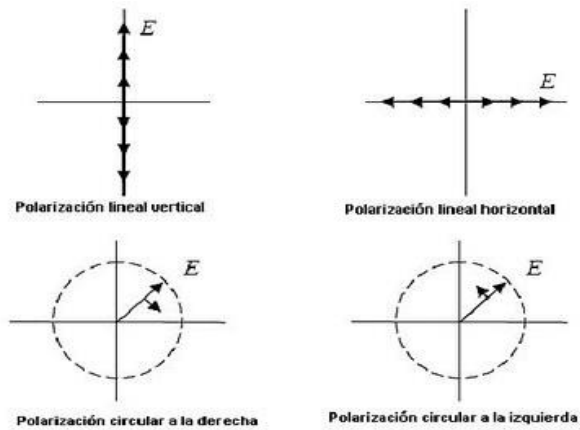


Figura 14. Polarización Horizontal y Vertical

4. METODOLOGÍA

Para el proyecto se utilizó el método de investigación experimental, basado en el análisis de los resultados para generar las conclusiones del proyecto realizado.

4.1. Justificación sobre el método elegido

Se empleó este método debido a diseñaron experimentos que permitieron alcanzar los resultados deseados.

4.2. Procedimiento

a) Se realizaron estudios y pruebas de los equipos disponibles en el laboratorio de Telecomunicaciones. Se escogió el USRP 2920.

b) Elección de las antenas a utilizar en base a las frecuencias de operación del USRP 2920.

c) En base a pruebas se realizó la elección del obstáculo a utilizarse en el prototipo de radar. Elección de los archivos a utilizar para la realización de pruebas.

d) Estudio sobre los modelos de propagación y modelos estadísticos para establecer la distancia de un objeto.

e) Pruebas con los equipos utilizando el modelo de regresión lineal.

f) Obtención de la velocidad de un objeto usando el efecto Doppler (desplazamiento de frecuencia).

g) Elaboración de prácticas base para la compresión del sistema radar.

4.3. Instrumentos empleados

4.3.1. LabVIEW

Es un lenguaje de programación G, de tipo gráfico. Facilita y disminuye el desarrollo de programas complejos en cuestión de tiempo, cuenta con librerías de funciones que son dedicadas a la adquisición de datos, la instrumentación, al análisis matemático (mediciones y visualización). También hay que acotar que especialmente se dedica a los bancos de pruebas y mediciones. LabVIEW y el Hardware posibilitan intercomunicaciones con diferentes tarjetas y aparatos (tarjetas de adquisición de datos, PXI, FPGAs, USRP) gracias a sus numerosas librerías.

La programación en LabVIEW se hace con iconos que representan funcionalidades, unidos entre ellos por cables que figuran los flujos de datos. (Jolly, 2009)

Las tres principales partes que cada VI contiene son:

- Panel frontal – interacción con el usuario (controles, indicadores)
- Diagrama de bloque – contiene código fuente del programa y componentes
- Icono/conector – lista de parámetros gráficos que conectan un VIs con otros VIs.

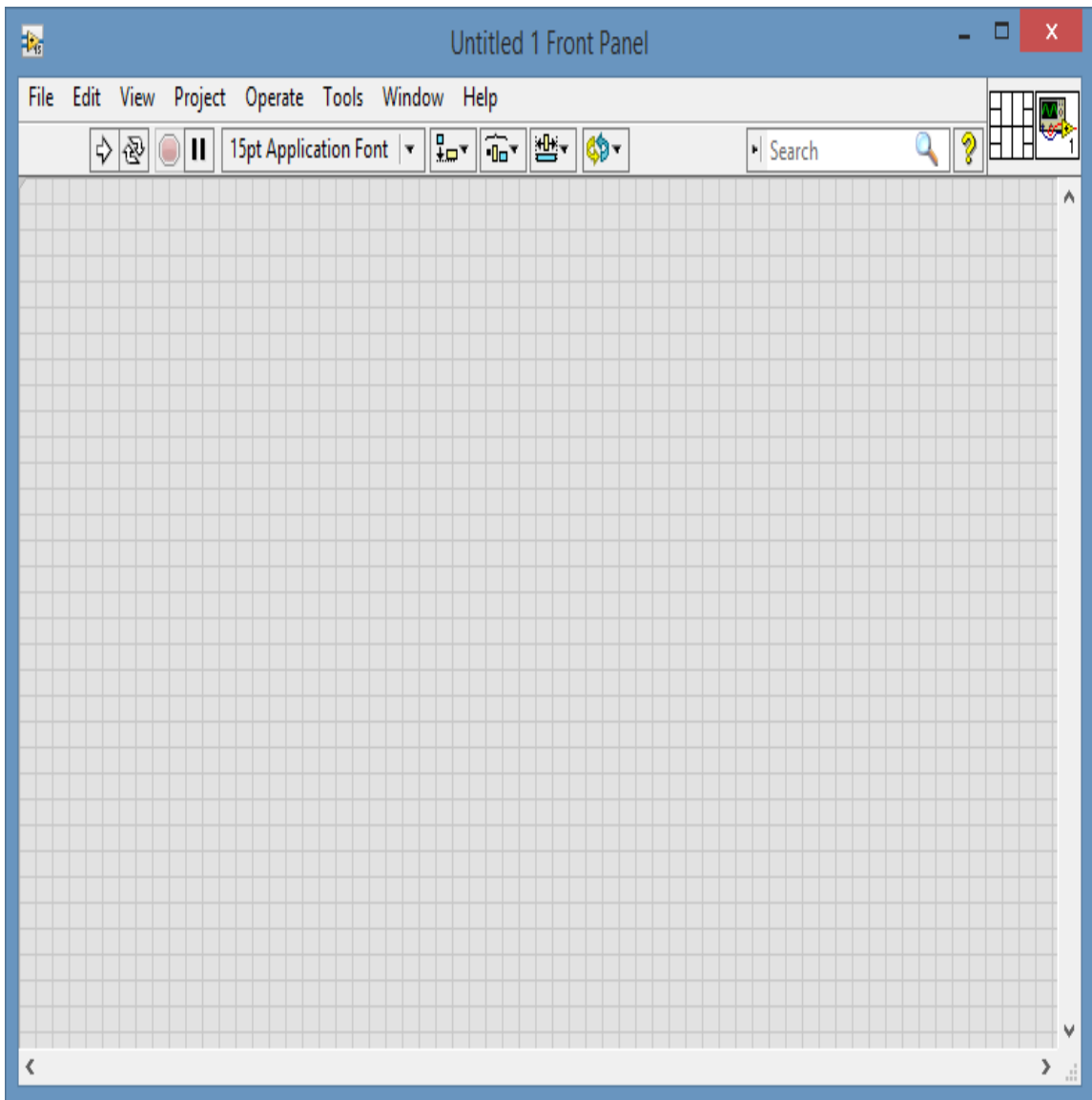


Figura 15. Ventana del panel frontal

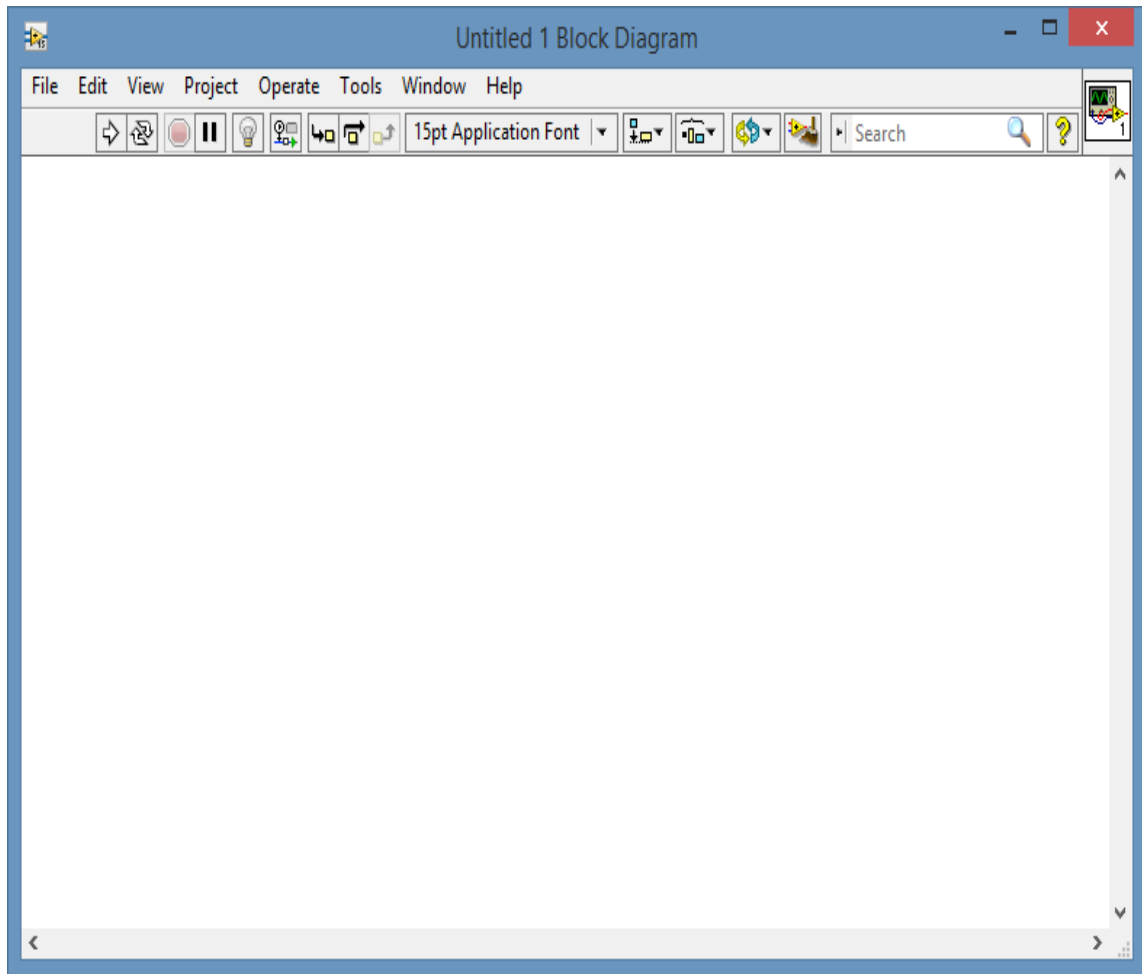


Figura 16. Ventana del diagrama de bloques

4.3.2. NI-USRP 2920

El NI-USRP (Universal Software Radio Peripheral) es un transceptor caracterizado por ser flexible y rentable, convirtiéndose en una plataforma potente de generación rápida de prototipos de sistemas inalámbricos a nivel de RF y Telecomunicaciones, combinado con software NI LabVIEW.

Uno de los beneficios investigativos que ofrece estos dispositivos es el uso de un lenguaje de programación grafica junto a LabVIEW combina algoritmos de procesamiento de señales de RF en tiempo real.

En el área de la docencia brinda enfoques para la enseñanza de RF y comunicaciones brindando a los estudiantes experiencias prácticas al investigar un sistema de comunicaciones en funcionamiento con señales en vivo y así tener claros los conocimientos entre la teoría y la práctica.

4.3.2.1. Funcionamiento externo de NI-USRP

El NI-USRP consta de las siguientes entradas:

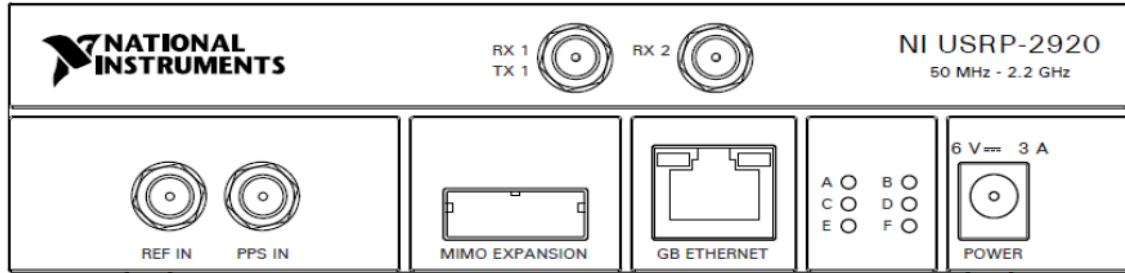


Figura 17. NI-USRP 2920 vista frontal (INSTRUMENT)

Tabla 2. Funcionamiento de entradas de NI-USRP2920 (INSTRUMENT)

CONECTOR	FUNCION
RX1/TX1	Terminal de señal entrada y salida RF. *
RX2	Terminal de señal salida RF. *
REF IN	Terminal de entrada para una señal de referencia externa para el oscilador local. Acepta una señal de 10 MHz con una potencia mínima de 0 dBm (0.632 V) y un máximo de 15 dBm (3.56 V) para señal cuadrada o sinusoidal. *
PPS IN	Terminal de entrada para señal de referencia del tiempo en pulsos por segundo. Este terminal permite señales de tipo TTL (0 a 3.3 V ó 0 a 5 V). *
MIMO EXPANSION	Interfaz que permite la conexión de 2 USRP usando un cable MIMO compatible.
GB ETHERNET	Puerto tipo RJ-45
POWER	Entrada de alimentación permite 6V, 3A (DC).

* Conector de tipo SMA (hembra), impedancia de 50Ω.

4.3.2.2. Indicadores LED del dispositivo

Tabla 3. Descripción de indicadores LED de NI-USRP 2920 (INSTRUMENT)

LED	INDICACION
A	Estado de transmisión del USRP: OFF> no está transmitiendo. GREEN> modulo está transmitiendo.
B	Estado del cable MIMO: OFF> módulos no están conectado usando cable mimo. GREEN> módulos están conectados.
C	Estado de recepción del equipo: OFF> no está recibiendo. GREEN> modulo está recibiendo.
D	Estado del firmware del NI-USRP: OFF> firmware no está cargado GREEN> firmware está cargado.
E	Estado de enganche de la señal de referencia al oscilador local (LO) en el USRP: OFF> no hay señal de referencia para él LO. BLINKING> él LO no está enganchado a una señal de referencia. GREEN> él LO está enganchado a una señal de referencia.
F	Estado de la alimentación del USRP: OFF> modulo está apagado. GREEN> modulo está encendido.

4.3.2.3. Características de NI-USRP 2920

Tabla 4. TX y RX NI-USRP 2920 (INSTRUMENT)

	TRASMISOR	RECEPTOR
Rango de frecuencias	50 MHz a 2.2 GHz	50 MHz a 2.2 GHz
Máxima potencia (Salida)	50 MHz a 1.2 GHz (17 a 20 dBm)	
	1.2 GHz a 2.2 GHz (15 a 18 dBm)	
Ganancia	0 a 31 dBm (Rango)	0 a 31 dB
	1 dB (Paso)	
Máximo ancho de banda	16 bit: 20 MHz	16 bit: 20 MHz
	8 bit: 40 MHz	8 bit: 40 MHz
Máximo I/Q Sampling	16 bit: 25 MS/s	16 bit: 25 MS/s
	8 bit: 50 MS/s	8 bit: 50 MS/s

4.3.2.4. Funcionamiento Interno de NI-USRP 2920

Antes de la etapa de radiofrecuencia, no envía la señal a una frecuencia intermedia; el NI-USRP posee una arquitectura de tipo “Construcción de conversión directa”.

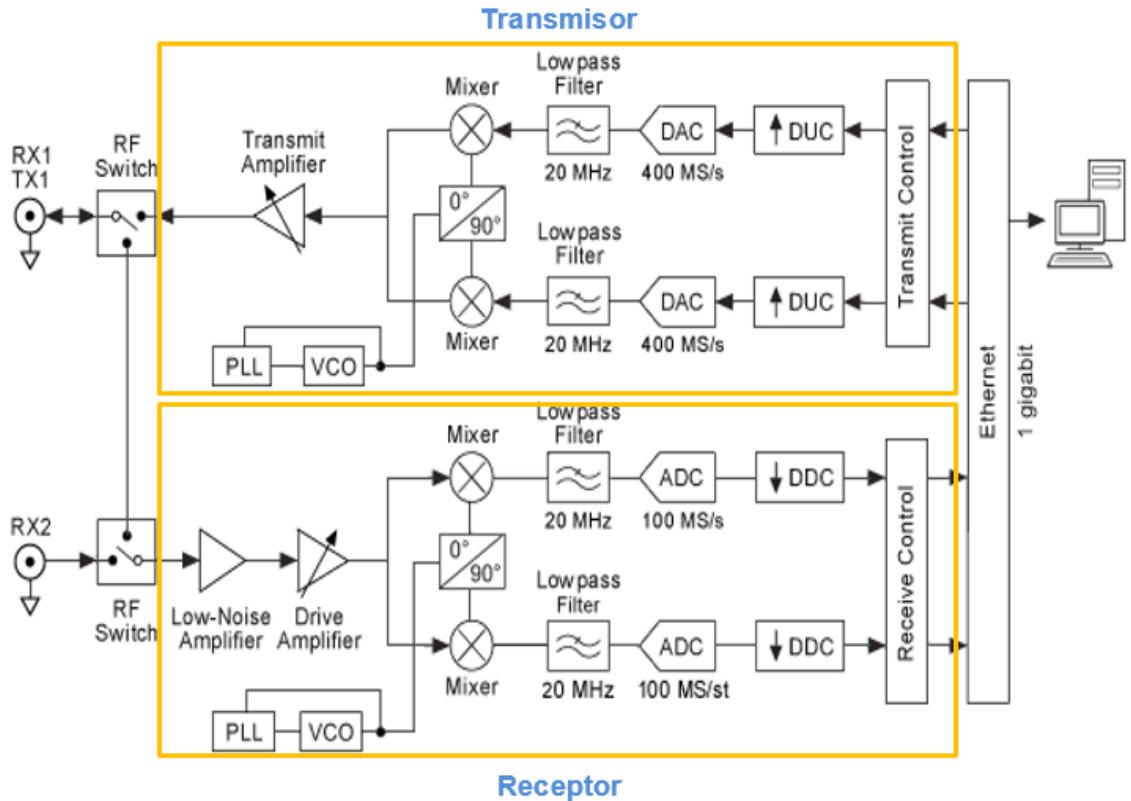


Figura 18. Diagrama de bloque del módulo NI-USRP 2920

Descripción del funcionamiento de cada bloque cuando se transmite y recibe una señal, a continuación:

Digital Upconverter (DUC): Muestra la señal de banda base, desde la frecuencia de sampling configurada en la PC a 400 MS/s.

Digital to Analog Converter (DAC): Convierte una señal digital banda base en una señal analógica a una velocidad de 400 MS/s.

Lowpass Filter (filtro pasa bajo): Limita el ancho de banda de la señal analógica, este es el resultado del proceso de conversión digital a analógico.

Mixer: Mezcla la señal banda base con una señal portadora especificada por el usuario.

Transmit Amplifier: Aumenta la potencia de la señal RF.

Low-Noise Amplifier (LNA): Permite recuperar la señal analógica RF sin agregar ruido.

Driver Amplifier: Recupera la señal digital recibida por el LNA

Analog to Digital Converter (ADC): Digitaliza la señal banda base a una velocidad de 100 MS/s.

Digital down Converter (DDC): Muestra la señal de 100 MS/s a la velocidad que es especificada por el usuario.

Transmit Control: Configura la señal I/Q para ser enviada dado los parámetros del usuario.

Receive Control: Sintetiza las señales I/Q banda base para ser enviadas.

4.3.3. Antena

La elección de la antena se determinó en base a las características principales que estén dentro de los rangos de frecuencia del NI-USRP 2920 y considerar el modo de operación de la antena para poder alcanzar los resultados deseados.

La antena patch para interiores, es empleada para redes inalámbricas; modelo Cell-Max. La misma que se usó para fines del proyecto, con la cual se llegó al cumplimiento de la propuesta.



Figura 19. Antena Patch para interiores (CommScope, 2016)

4.3.3.1. Característica de la Antena

- La banda de frecuencia en la que trabaja la antena es 1710–2170 MHz.
- Presenta un ancho de haz, horizontal 90° y vertical 65°. Estos parámetros están relacionados al patrón de radiación de la antena que representa la distancia entre los puntos de la mitad del lóbulo mayor del diagrama de radiación.
- La impedancia de la antena es de 50 ohm, es el cociente entre el voltaje, la tensión y la corriente de entrada. Expresada en números imaginarios complejos, parte real es la resistencia de antena y la parte imaginaria es la reactancia.
- La polaridad en la que opera la antena es vertical, esta polarización tiene menos pérdidas por reflexión.
- Es un tipo de antena direccional, la mayor potencia es concentrada hacia el receptor con la finalidad de evitar interferencias. (Zuñiga, 2014)

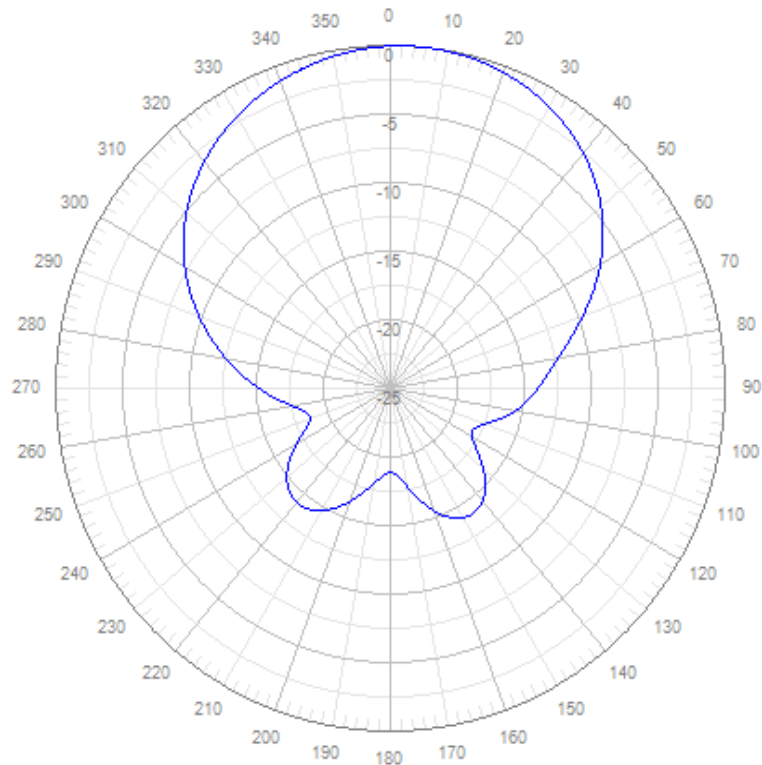


Figura 20. Patrón de radiación, frecuencia 1710 MHz (CommScope, 2016)

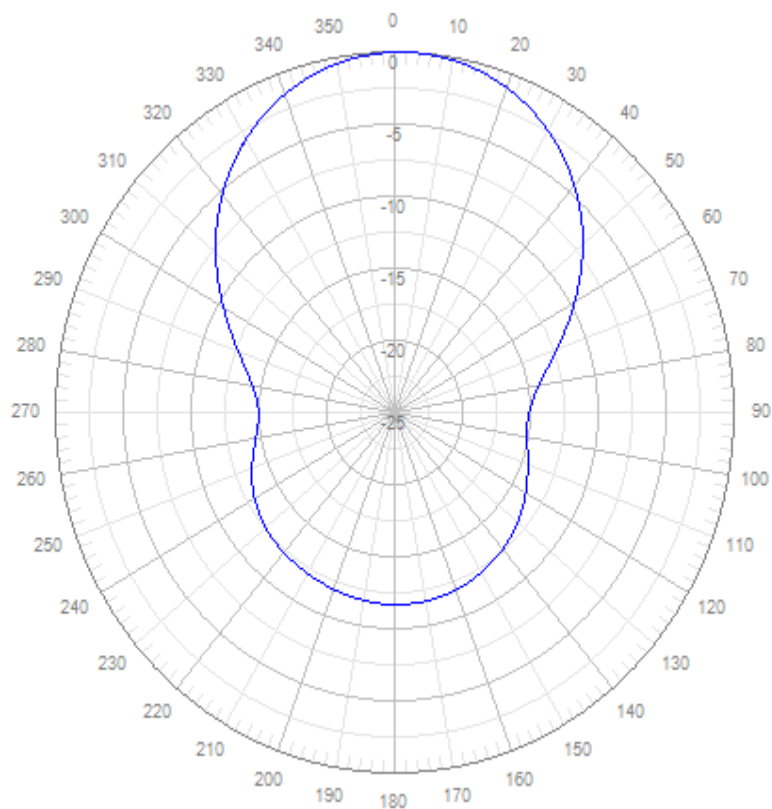


Figura 21. Patrón de radiación, frecuencia 2170 MHz (CommScope, 2016)

- Posee un conector N hembra, de la interfaz de RF.
- Es sus especificaciones ambientales, trabaja en los rangos de temperatura -40°C a $+60^{\circ}\text{C}$ (-40°F a 140°F).

4.3.4. Regresión lineal

El modelo de regresión lineal se lo aplico para poder plantear una ecuación que muestre como se relaciona la variable dependiente “y” con la variable independiente “x”, potencia vs frecuencia.

Modelos de regresión lineal simple;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (4.1)$$

β_0 y β_1 - parámetros del modelo en mención.

ε , es una variable aleatoria cuya función es explicar lo que no se puede con la relación lineal entre X y Y.

La ecuación de regresión lineal simple;

$$E(y/x) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (4.2)$$

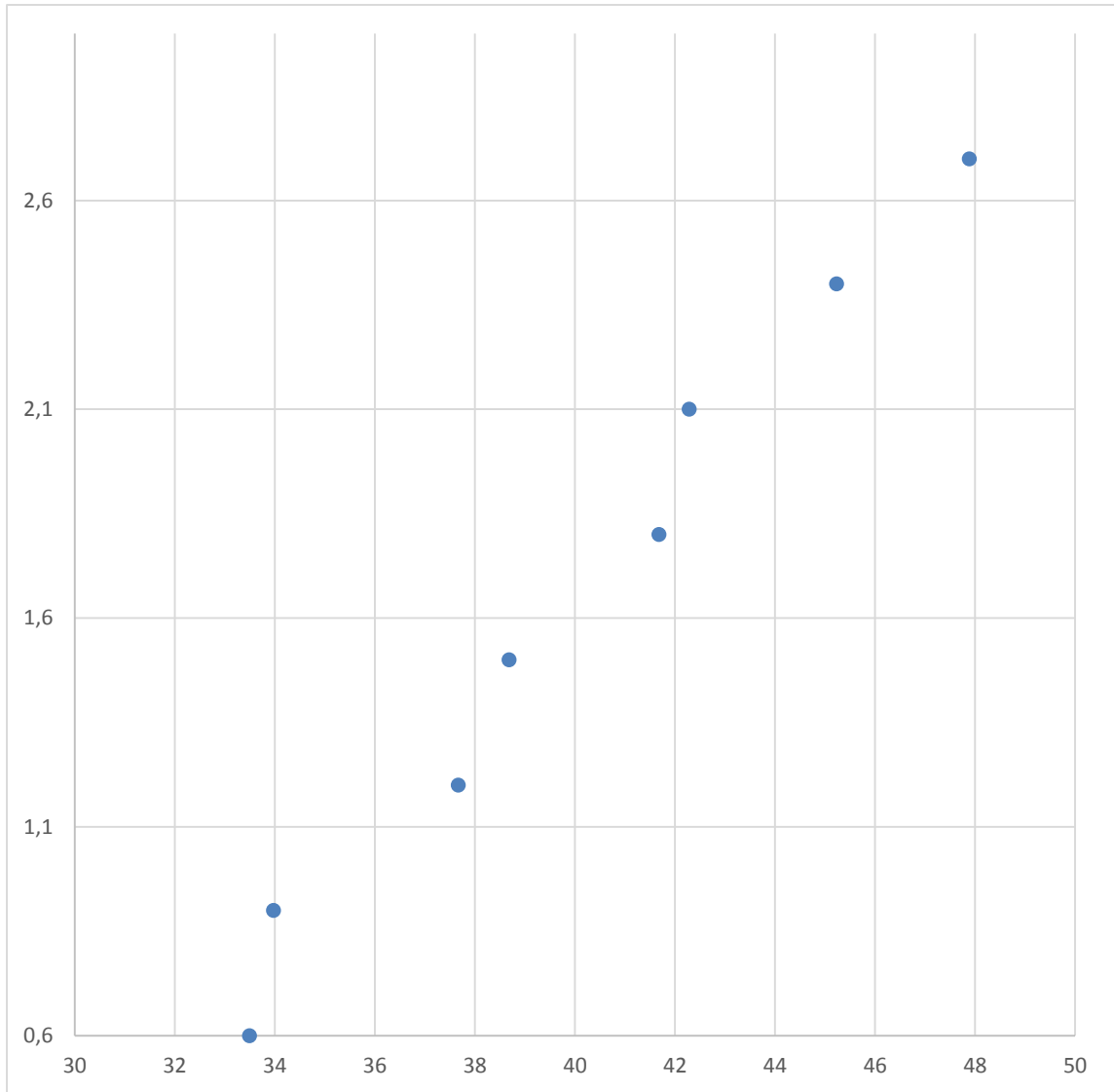


Figura 22. Diagrama de dispersión

Se usó este modelo para predecir o estimar los valores de Y que obtendremos para distintos valores de X, para nuestro caso potencia vs distancia, de las muestras adquiridas durante las pruebas y así poder determinar una ecuación para la distancia.

De esta manera nos permite cuantificar la relación cuando en una gráfica de puntos dispersos correspondientes a dos variables, ya está tiende generalmente a ser rectilínea.

4.3.5. Doppler

El efecto Doppler es el cambio aparente de frecuencia de una onda generada por el movimiento relativo de la fuente con respecto a su observador. (Vargas, 2014)

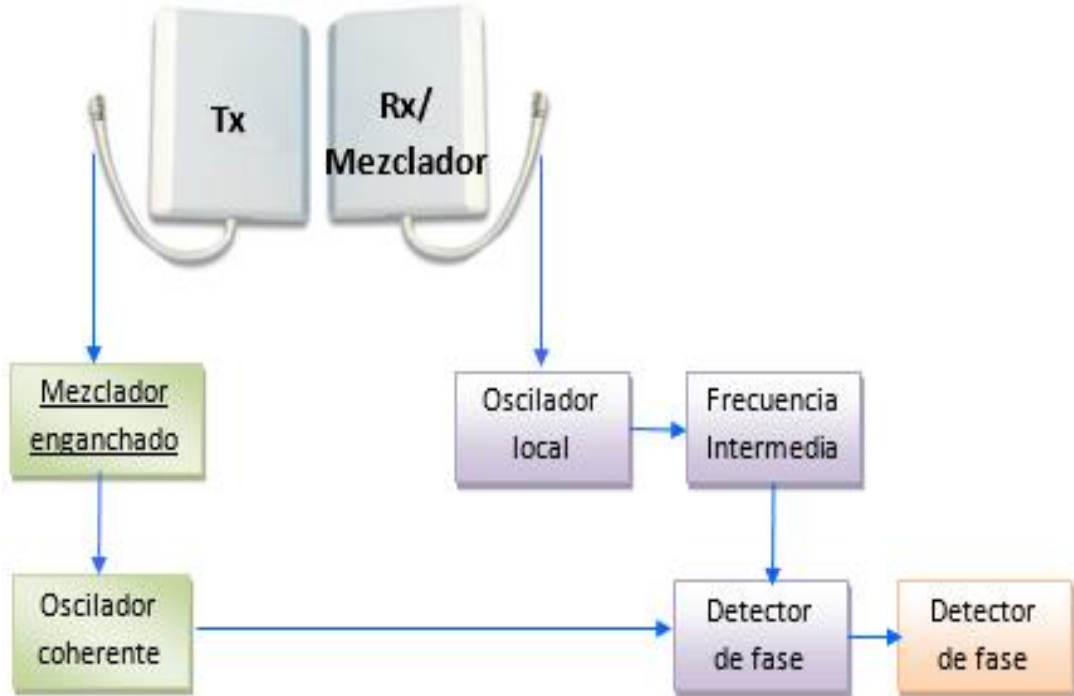


Figura 23. Diagrama de bloques – Radar Doppler

En el receptor se extrae la diferencia entre la frecuencia de la señal reflejada y la recibida. Esta es la *frecuencia Doppler* que permite determinar la velocidad de un objeto. (Perez, 2010)

$$f_R = f_T \frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}} \quad (4.3)$$

Expresión de Frecuencia Doppler:

$$f_D = f_R - f_T = \frac{2vf_T}{c - v} \cong \frac{2vf_T}{c} \quad (4.4)$$

Una vez que se conoce la frecuencia de la transmisión y la frecuencia Doppler, se determina la velocidad del objeto.

$$v = \frac{cf_D}{2f_T} \quad (4.5)$$

f_R = frecuencia recibida por el observador

f_T = frecuencia transmitida por la fuente

f_D = frecuencia Doppler

v = velocidad relativa entre la fuente y el observador

$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ - velocidad de la luz

Expresión de la frecuencia recibida:

Si $f_R > f_T$, objeto se acerca al transmisor.

Si $f_R < f_T$, objeto se aleja del transmisor.

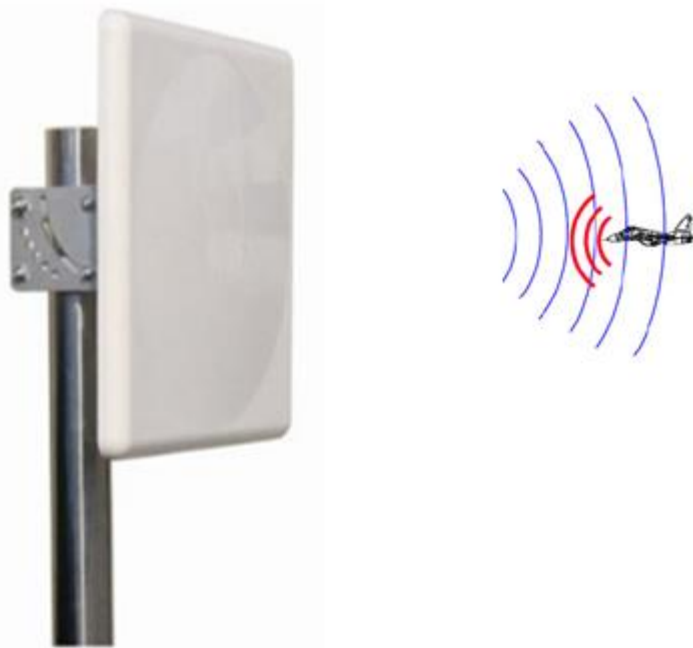


Figura 24. Sección transversal del objeto/blanco como lo ve el radar (Perez, 2010)

4.3.6. Desplazamiento de Frecuencia

El desplazamiento de frecuencia se genera por la diferencia en los osciladores del transmisor y receptor no conteniendo la misma frecuencia de portadora. El efecto Doppler es otra razón del desplazamiento de frecuencia, causado por el movimiento relativo que hay entre el transmisor y receptor.

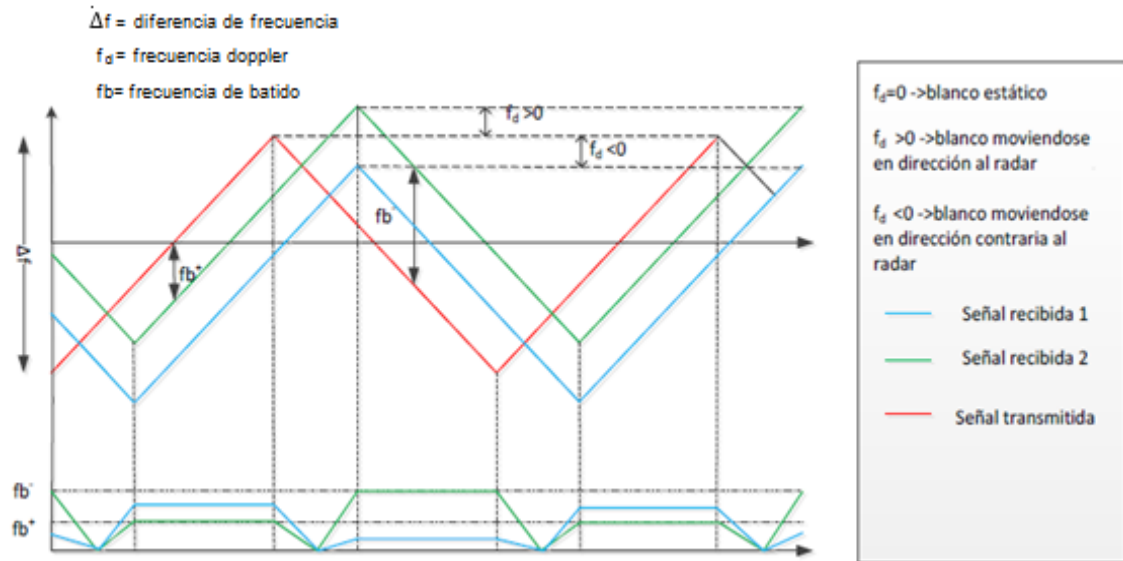


Figura 25. Respuesta de desplazamiento de frecuencia (Vargas, 2014)

Un objeto se desplaza a una velocidad v , la señal de eco recibida presentará un desplazamiento de frecuencia esto se debe al efecto Doppler, dependiendo si el objeto se aleja o se aproxima al radar.

El desplazamiento de frecuencia causa una rotación de fase en la constelación de símbolos recibidos, provocando que no se ubiquen en sus respectivas regiones los símbolos, lo cual tiene como efecto degradar la señal recibida. Cuanto más grande es el desplazamiento más rápido rotará la señal recibida. (Espinoza, Freire, Chavez, Gomez, & Ramos, 2015)

4.4. Análisis de la información obtenida

4.4.1. Distancia

Para la determinación de distancia del prototipo de Radar fue por medio de adquisición de datos de 0.6 m a 2.7 m de distancia del objeto y las antenas, con intervalos de 30 cm tomando como referencia los cuadros de la baldosa. El objeto es de material metálico.

Tabla 5. Medición de distancia por medio de software LabVIEW

Potencia (dBm)	Distancia real (metros)	Distancia medida por el radar (metros)
33.49532754	0.6	0.707885109
33.97608143	0.9	0.776296387
37.67127664	1.2	1.302122666
38.68443144	1.5	1.446294594
41.67809531	1.8	1.872292963
42.28260809	2.1	1.958315131
45.23258834	2.4	2.378097321
47.88516589	2.7	2.755559106

La potencia y la distancia medida por el radar son datos medidos por medio del software. Mientras que la distancia real es la medida en la que se posicionaba el objeto para poder adquirir la ecuación.

Para la realización del mismo, cada punto tenía una duración de 5 minutos, luego se guardaba un archivo en Excel con todas las muestras tomadas en los puntos indicados en la Tabla 5.

Por medio de la adquisición de datos se determinó la ecuación del radar para la distancia usando el método matemático de regresión lineal.

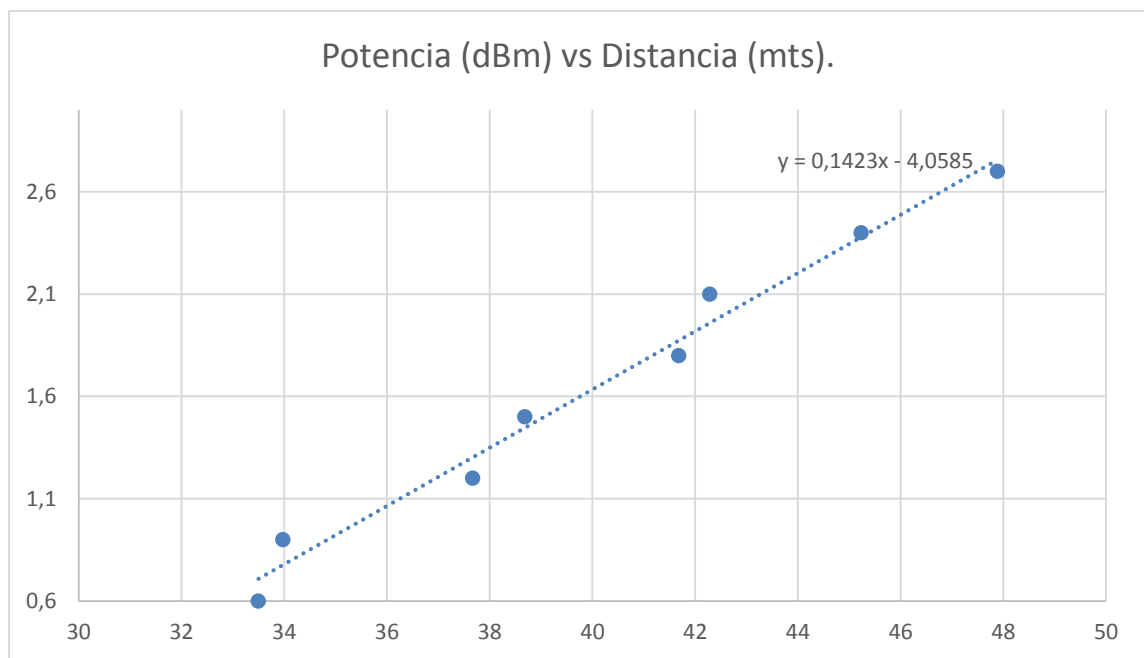


Figura 26. Gráfica de la ecuación determinada para la distancia

4.4.2. Velocidad

Se determinó la velocidad por medio de la fórmula del efecto Doppler anteriormente expuesta, se la pudo trabajar conjuntamente bajo los VI's de Frequency offset, utilizando básicamente el desplazamiento de frecuencia (efecto Doppler). Para su demostración se agregó la fórmula de velocidad.

$$v = \frac{cf_D}{2f_T} \quad (4.6)$$

Los VI con los que se trabajó como transmisión y recepción se detallan a continuación.

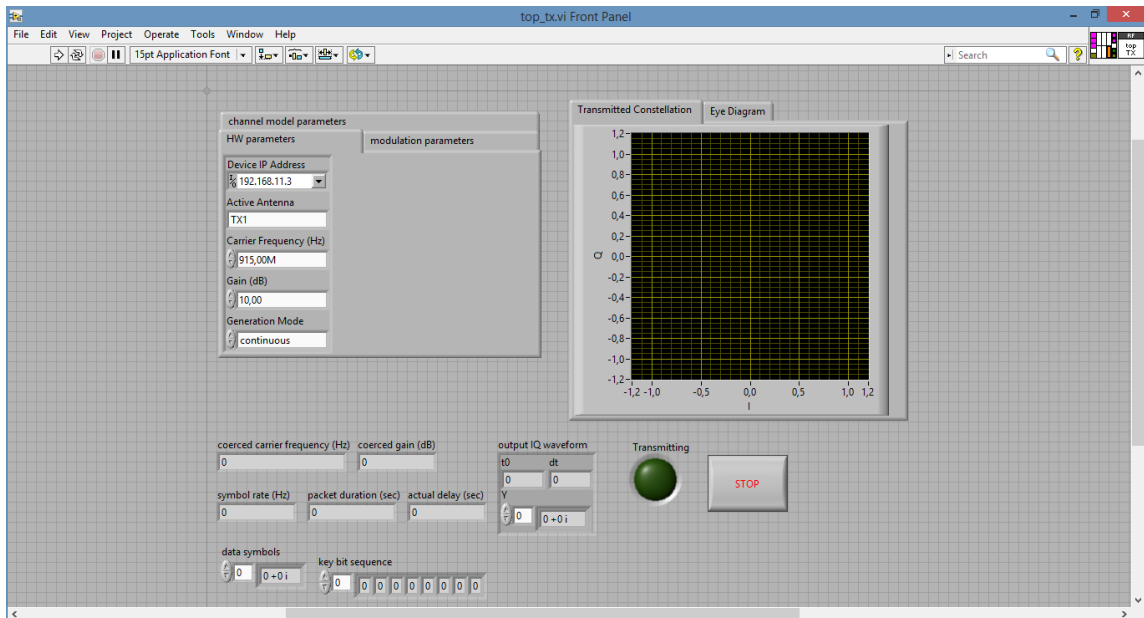


Figura 27. top_tx.vi (Panel frontal)

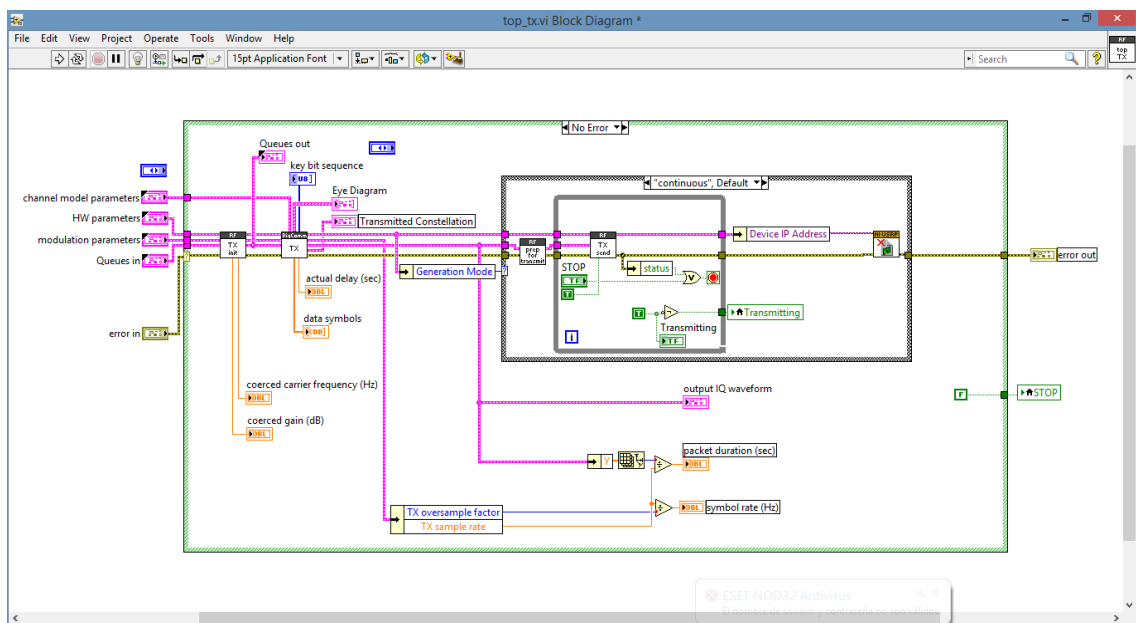


Figura 28. top_tx.vi (Diagrama de bloques)

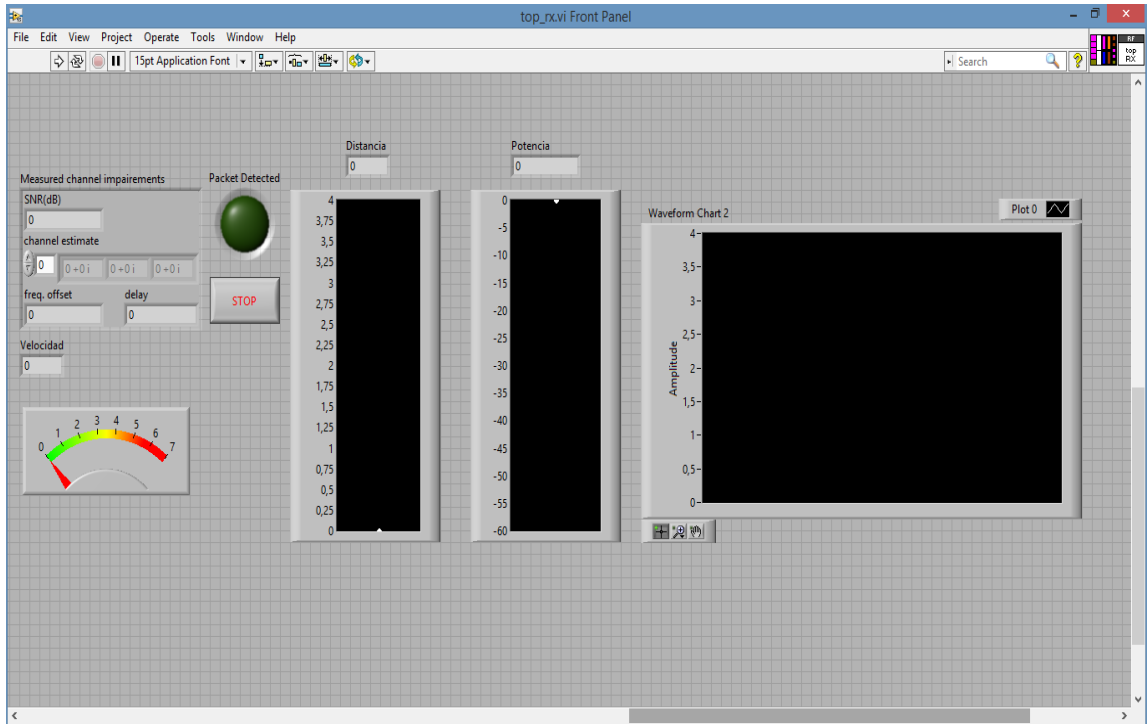


Figura 29. top_rx.vi (Panel frontal)

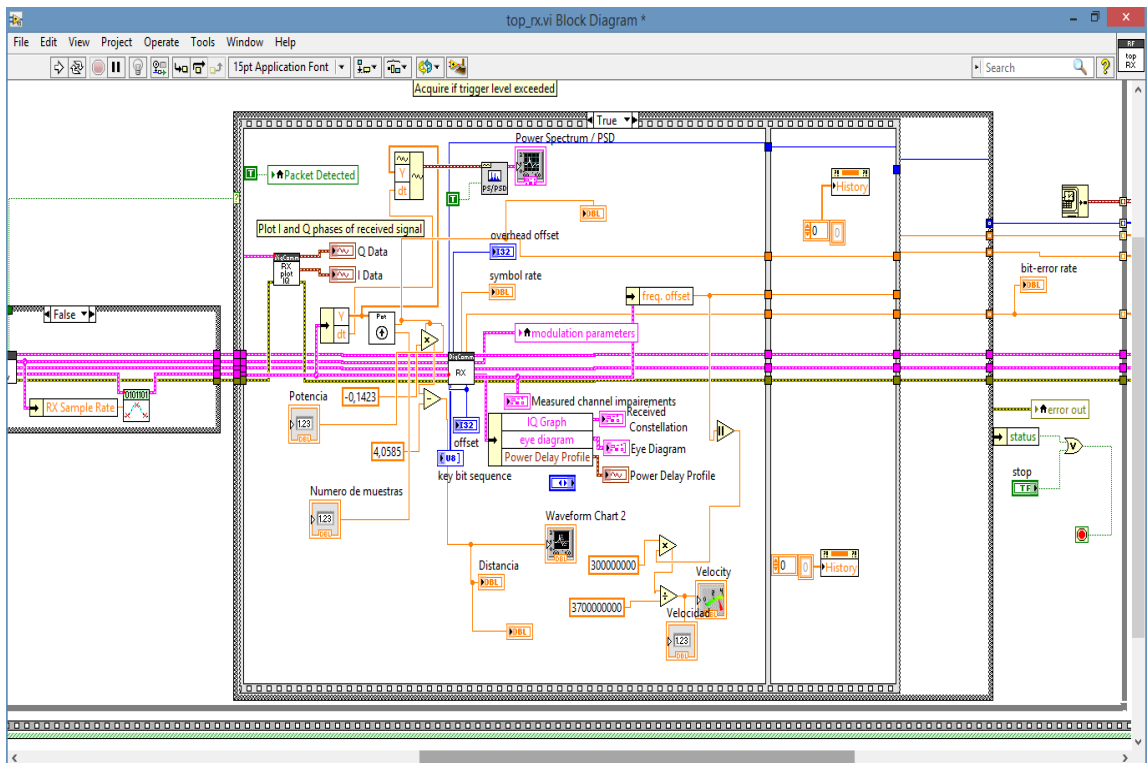


Figura 30. top_rx.vi (Panel frontal)

4.4.3. Breve descripción de las Prácticas realizadas

Con el fin de verificar el correcto funcionamiento de la instrumentación a emplear en las prácticas, se ha realizado un banco de las prácticas, obteniéndose las representaciones gráficas, el estudio de la resolución del sistema radar que se muestran en el desarrollo adjuntado en Anexos.

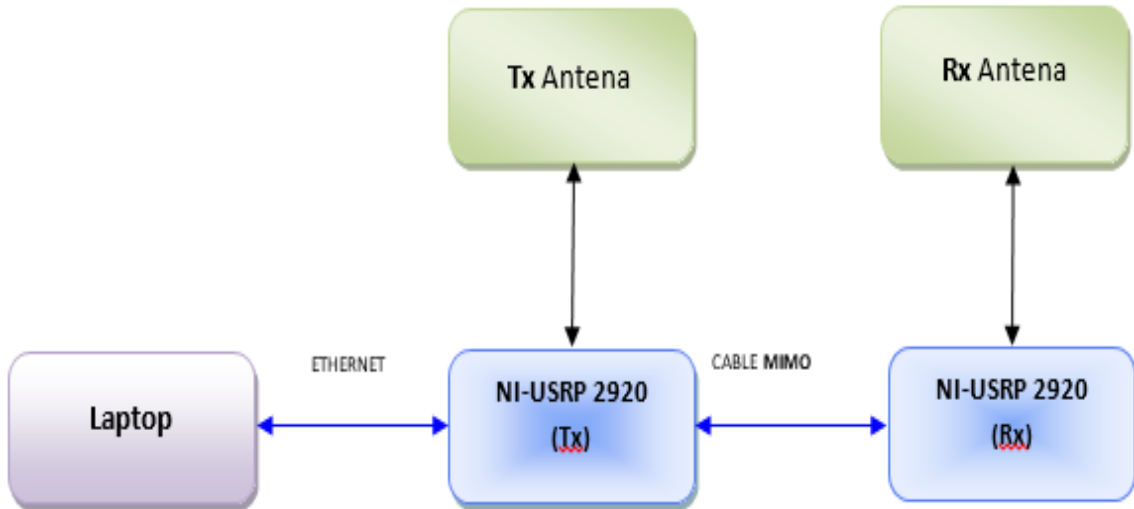


Figura 31. Diagrama de Bloques del prototipo Radar

4.4.3.1. Práctica 1

Cálculo del rango de un radar

Para esta práctica se realizó un VI para calcular el rango de un radar.

Con esta práctica el estudiante podrá comprender el comportamiento del rango del radar y un objeto analizando el tiempo de respuesta de la señal.

4.4.3.2. Práctica 2

Simulación de Sistema Radar.

En esta práctica se introduce estructuras de programación y formula Node, el objetivo es dar a conocer la obtención de una distancia, se utiliza el fundamento principal de la realización del proyecto con la diferencia de que en esta práctica no es necesaria la implementación del escenario.

Adicional se muestra el uso de efecto Doppler para estimar la velocidad de un objeto. Todo realizado en el mismo escenario. Con la presente práctica el estudiante comprenderá el funcionamiento de un radar.

4.4.3.3. Práctica 3

Radar de onda continua: Efecto Doppler

Para esta práctica se realizó VI con la finalidad de hacer una simulación del efecto Doppler con respecto a los radares usando los USRP 2920.

Con esta práctica el estudiante podrá poner en marcha los conocimientos adquiridos durante el estudio de las materias de la carrera de electrónica mención telecomunicaciones con el propósito de que amplíe sus conocimientos con el software LabVIEW.

4.4.3.4. Práctica 4

Determinar la distancia de un objeto en movimiento

En esta práctica se introduce estructuras de programación y formula Node, el objetivo es dar a conocer la obtención de una distancia.

4.4.3.5. Práctica 5

Calcular la velocidad de un objeto utilizando los parámetros adquiridos a través del software

En la presente práctica además de utilizar herramientas que ofrece LabVIEW a nivel de RF, es el programar un VI como tal.

Obtener la velocidad de un objeto haciendo uso de la expresión matemática de frecuencia Doppler, y además implementado el escenario para la realización de la práctica usando los USRP 2920 y las antenas que se utilizaron en este proyecto.

Ver en la sección de ANEXOS todas las prácticas detalladas.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a los objetivos planteados:

5.1. Prototipo de pruebas del radar monoestático

Para la distancia mínima en que pueda trabajar el prototipo se utilizó la siguiente fórmula:

$f_{max} = 1.85 \text{ GHz}$; frecuencia de operación

$$e_d = \frac{c}{B} = \frac{c}{2 * f_{max}} \quad (5.1)$$

$$e_d = \frac{3x10^8 m/s}{2 * 1.85GHz} \quad (\text{aplicando 5.1})$$

$$e_d = 0.08 \text{ m}$$

Esta es la distancia mínima en que puede llegar a captar señal el prototipo radar, expresado teóricamente.

Para la distancia máxima se comprueba utilizando la siguiente fórmula:

$$d_{maxteorica} = \frac{c * t_f}{2} \quad (5.2)$$

$t_f = 240\mu s$; tiempo de muestreo

$$d_{maxteorica} = \frac{(3x10^8 m/s)(240x10^{-6} s)}{2} \quad (\text{aplicando 5.2})$$

$$d_{maxteorica} = 36 \text{ km}$$

De las pruebas que se realizó se tomó el mayor tiempo de muestreo, utilizando el VI top_rx.vi.

Se concluye que el tiempo debe ser más pequeño que el obtenido, para tener un tiempo de muestreo deseado, en base a lo experimental la distancia máxima en que trabaja el prototipo es 2.7m, teniendo como resultado el tiempo de muestreo óptimo para el sistema.

$$d_{maxteorica} = 2.7m$$

$$2.7 \text{ m} = \frac{c * t_f}{2} \text{ (aplicando 5.2)}$$

$$t_f = \frac{(2)(2.7 \text{ m})}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \text{ (despejando } t_f \text{ de 5.2)}$$

$$t_f = 1.8 \times 10^{-9} \text{ s}$$

Por motivo del lugar no se alcanzó a tener este tiempo de muestreo, debido a los multitrayectos que se generan. Se obtuvieron lecturas conjuntamente con el USRP 2920 en tiempo de μs .

Según el análisis matemático realizado para lograr tener lecturas cada 30 cm se considera este tiempo de muestreo $2 \times 10^{-9} \text{ s}$.

Frecuencia Doppler

Conocida la frecuencia del transmisor y la frecuencia Doppler, se determina la velocidad de un objeto con la siguiente formula.

$$f_D = f_R - f_T \text{ (5.3)}$$

$f_D = -14.4244 \text{ Hz}$; esta frecuencia es obtenido por el top_rx.vi

$f_T = 1.85 \text{ GHz}$

Con estos valores se despeja la frecuencia de recepción.

$$1.85 \text{ GHz} - 14.4244 \text{ Hz} = f_R \text{ (despejando } f_R \text{ de 5.3)}$$

$$f_R = 1.8499 \text{ GHz}$$

Velocidad

Para el prototipo, si la frecuencia Doppler es negativa, no quiere decir que no exista dicha velocidad solo indica el sentido hacia donde se desplaza el objeto es decir si se aleja o acerca al radar, para poder mostrar en nuestro indicador de velocidad se toma directamente su valor absoluto.

$$v = \frac{c|f_D|}{2f_T} \text{ (5.4)}$$

$$v = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s} \cdot |-14.4244| \text{ Hz}}{2(1.85 \text{ GHz})} \quad (\text{aplicando 5.4})$$

$$v = 1.16954 \text{ m/s}$$



Figura 32. Demostración de frecuencia Doppler negativa

5.2. Definición de escenario de funcionamiento

En base a pruebas experimentales se obtuvo el escenario para el funcionamiento del prototipo.

Escenario1: Dentro del laboratorio de telecomunicaciones funciona el prototipo, pero los multitrayecto que se presentan en su interior alteran los resultados deseados.



Figura 33. Primer escenario, pruebas realizadas en el laboratorio de Telecomunicaciones de la UPS

Con el primero escenario, se realizaron pruebas para recibir la señal que se transmitía, y se observa la potencia recibida, con lo que las lecturas no fueron las mejores en condiciones de laboratorio. Además, la ubicación de las antenas en dirección a la pared, con esto se quería lograr el rebote de la señal y poder captarla, sin embargo, no resultó.

Escenario 2: Con los NI-USRP 2920 en los pasillos del bloque B el sistema rindió, pero al tener una temperatura superior a los 24°C hacia que varíe nuestros datos, en las canchas del bloque B ocurrió lo mismo, pero calentándose los equipos lo que no permitió ver los resultados ya que se podrían saturar los mismos y se procedió a no realizar dicha prueba.

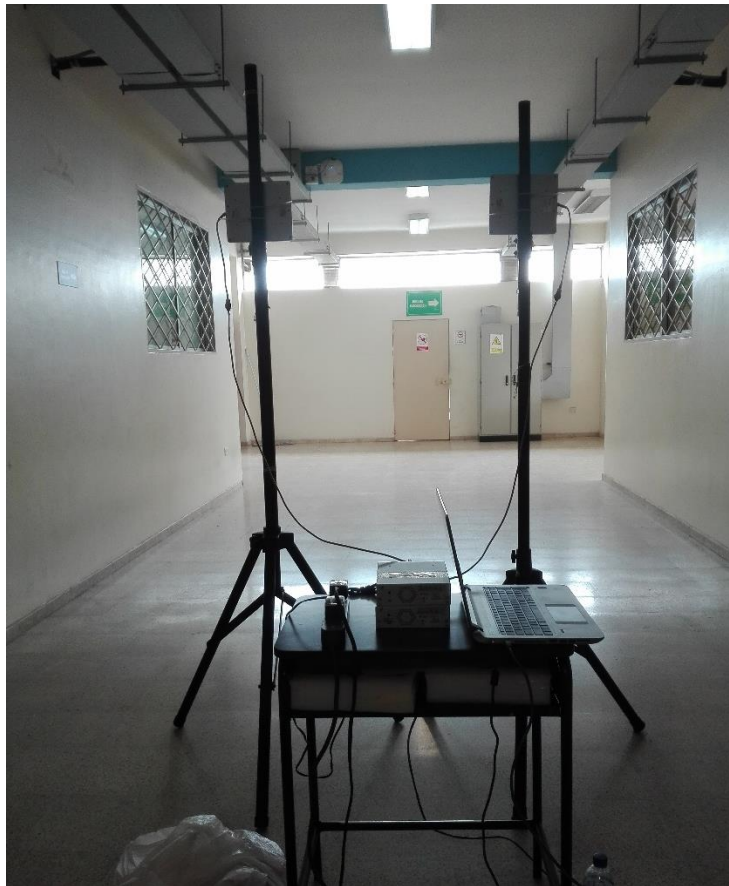


Figura 34. Segundo escenario, en los pasillos del bloque B.

Escenario 3: La última prueba realizada fue equipos dentro del laboratorio de telecomunicaciones a una temperatura de 20°C y el resto del sistema en el pasillo del tercer piso del bloque B donde no hubo problemas con la medición y se pudo realizar la lectura de datos necesarios para continuar en la resolución del proyecto.



Figura 35. Tercer escenario, pruebas realizadas con USRP dentro del laboratorio y antenas en el pasillo

Para el desarrollo del prototipo de pruebas se trabajó bajo el siguiente escenario tomando en consideración las distancias entre las antenas y mástiles que permitieron llegar a los resultados deseados.



Figura 36. Distancia entre antenas y mástiles

La distancia entre las antenas es de 30 cm, para el escenario de pruebas realizadas en el pasillo de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil. Las antenas deben estar alineadas para evitar lecturas de potencias no coherentes con respecto al objeto cuando se encuentra estático y al ser movido a los puntos establecidos. Y los mástiles para este escenario tuvieron una distancia entre ellos de 50 cm.

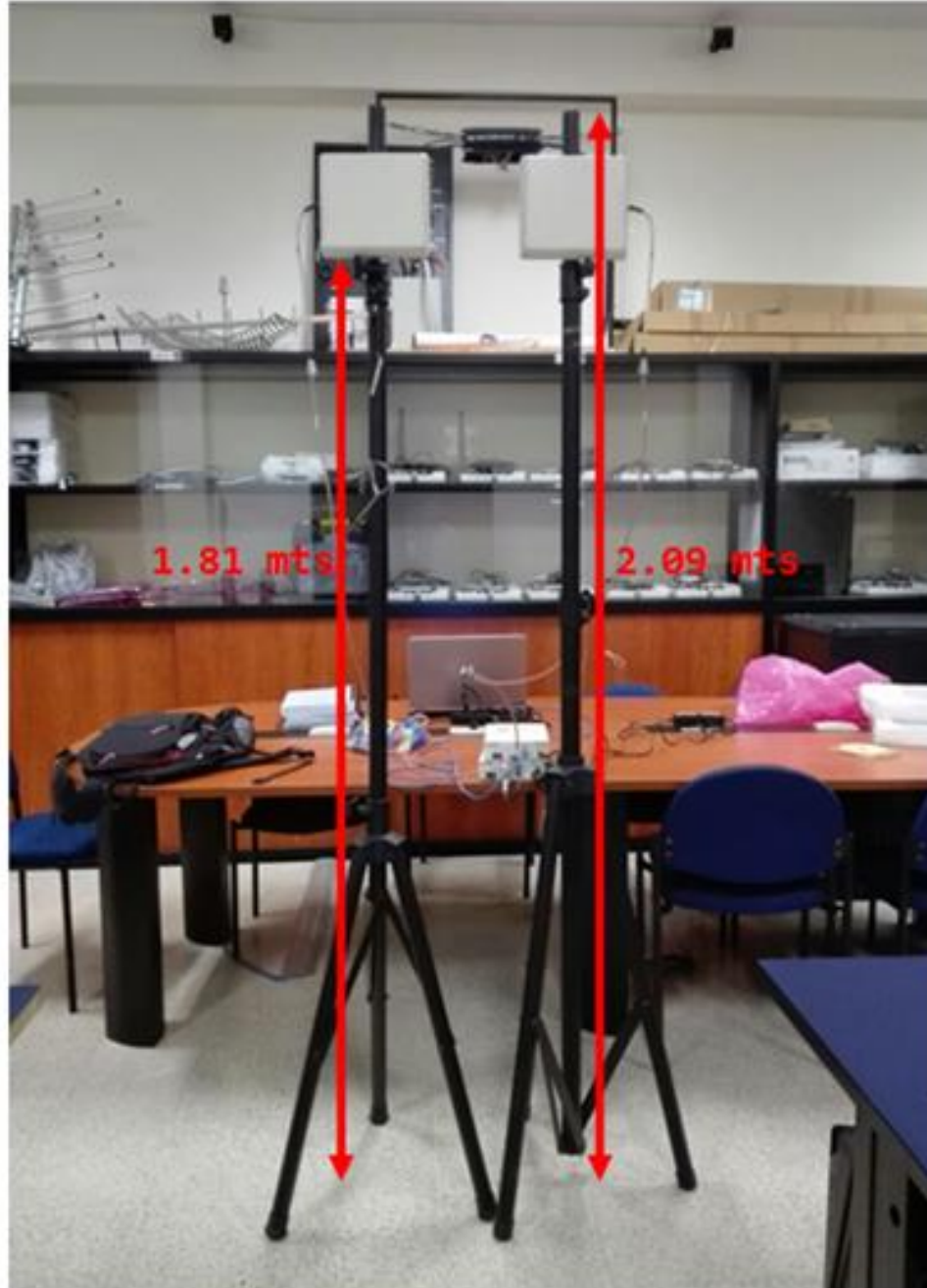


Figura 37. Altura de antenas y mástiles

Durante las pruebas que fueron realizadas se determinó que para obtener mejores resultados la altura de las antenas debía ser 1.81 metros, ya que posicionando a una altura baja se observaban resultados no aproximados y la potencia no se lograba estabilizar. Por tal motivo se trabajó a estas alturas (antenas y mástiles) para el escenario de pruebas realizadas en el pasillo y además en las pruebas de prácticas dentro del laboratorio de Telecomunicaciones de la UPS, sede Guayaquil.

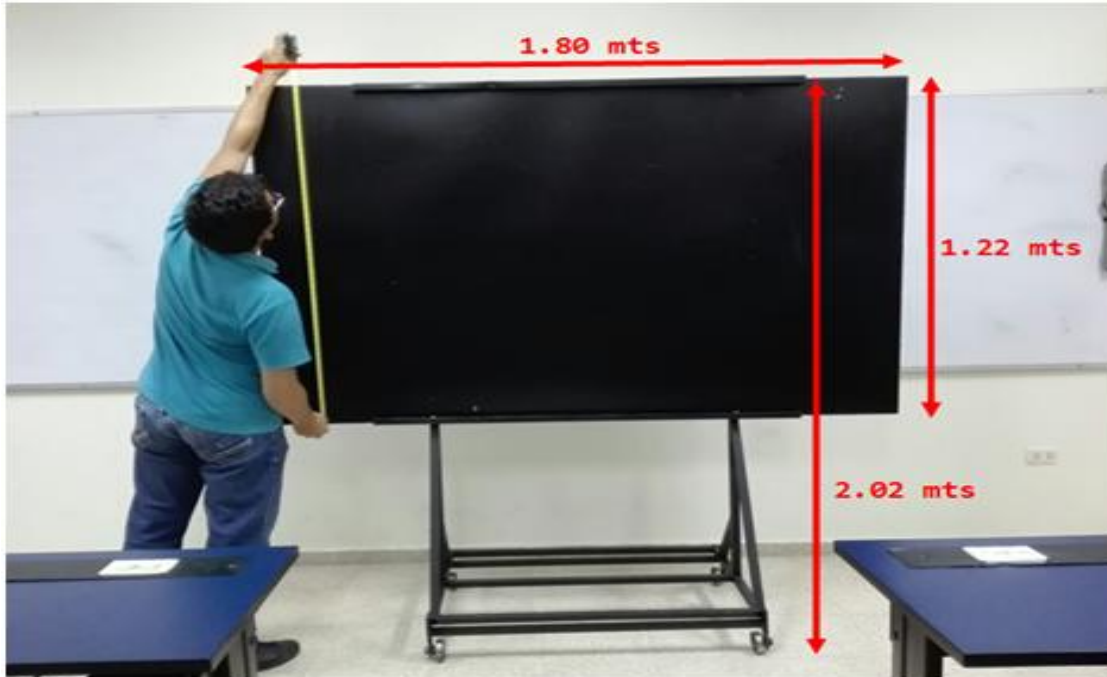


Figura 38. Obstáculo del prototipo

El obstáculo fue utilizado para realizar las pruebas del prototipo radar; con el mismo se toman datos para poder determinar la ecuación de la distancia. Posicionando el objeto a diferentes puntos. Las medidas del objeto son para poder recibir la señal de dicho objeto utilizando las antenas patch, tomando en cuenta su patrón de radiación se determina la forma del obstáculo.

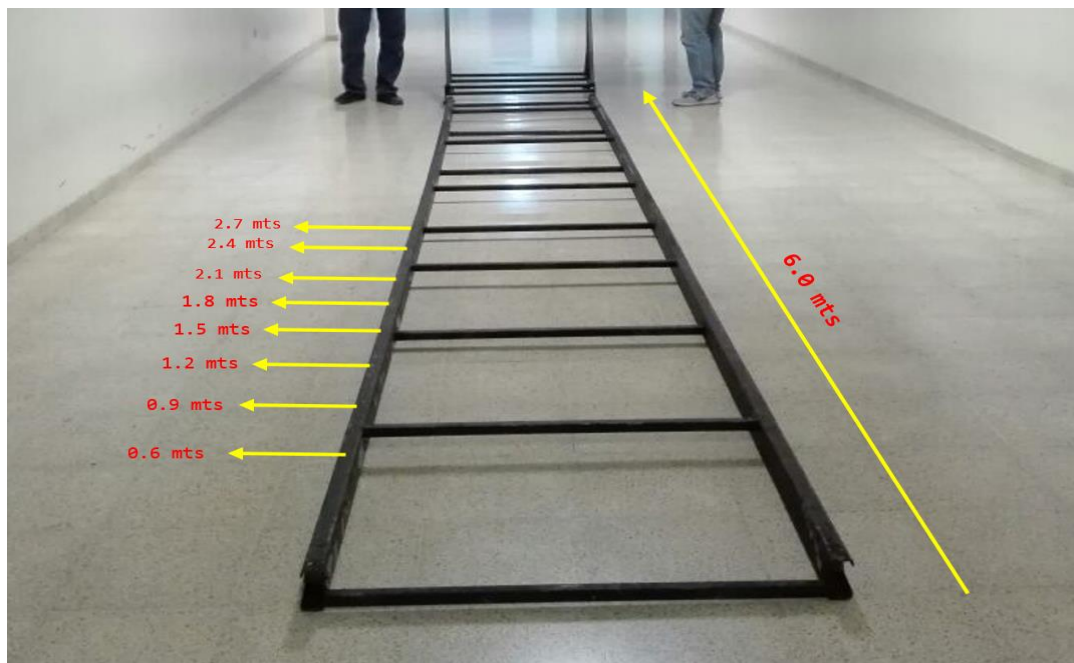


Figura 39. Rieles para obstáculo y medidas de cada punto

El objetivo de hacer uso a los rieles mostrados en la figura 26, es poder mover el obstáculo al mismo ángulo sin que este varíe. Durante las pruebas realizadas se comprobó que el objeto debe estar en el mismo ángulo, esto influye en la potencia y también al momento de adquirir datos.

Con los rieles se logró estabilidad de la potencia recibida y se trabajó con el objeto a 90°. Con anteriores pruebas el objeto no era totalmente estático ya que una persona sostenía el obstáculo, siendo este de diferente medida (más pequeña), los resultados no fueron los mejores ni se aproximaban a la distancia real.

5.3. Selección de antena

Mediante densidad de potencia se definió la antena a usar para el sistema, se tomó la potencia máxima disponibles en los Datasheet de las antenas a analizar (50 watt antena Patch para interiores, 100 watts antena yagi, 200watts antena parabólica de rejilla) con referencia a la distancia que se quería abarcar, para nuestro caso $r=2.7$ metros y se obtuvieron los siguientes resultados.

$$S_i = \frac{P_T}{4\pi r^2} \quad (5.5)$$

Antena Patch para interiores ($P_T = 50\text{watts}, r = 2.7 \text{ metros}$)

$$S_i = \frac{50 \text{ W}}{4\pi(2.7\text{m})^2} \quad (\text{aplicando 5.5})$$

$$S_i = 0.5457 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Tiene una potencia de 0.5457 W.

Antena yagi ($P_T = 100\text{watts}, r = 2.7 \text{ metros}$)

$$S_i = \frac{100 \text{ W}}{4\pi(2.7\text{m})^2} \quad (\text{aplicando 5.5})$$

$$S_i = 1.0915 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Tiene una potencia de 1.0915 W.

Antena parabólica de rejilla ($P_T = 200 \text{ watts}$, $r = 2.7 \text{ metros}$)

$$S_i = \frac{200 \text{ W}}{4\pi(2.7\text{m})^2} \text{ (aplicando 5.5)}$$

$$S_i = 2.1831 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Tiene una potencia de 2.1831 W.

Con este análisis se determina que una antena parabólica de rejilla es la ideal.

Por diagramas de patrón de radiación:

Datasheet de antena parabólica de rejilla tenemos.

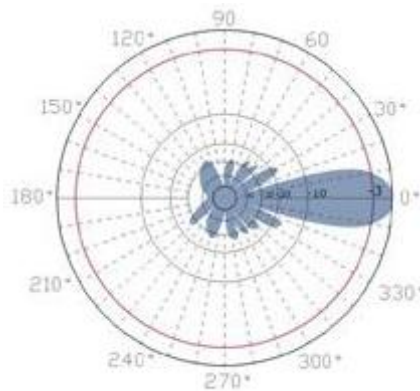


Figura 40. Patrón de radiación antena parabólica de rejilla

Datasheet de antena yagi tenemos.

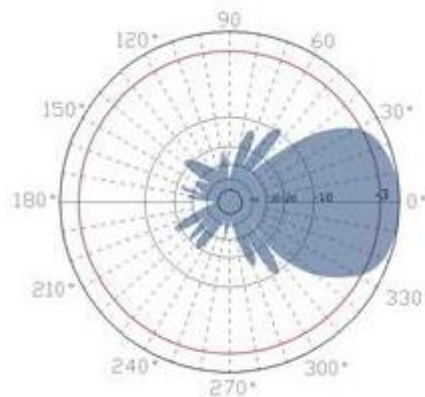


Figura 41. Patrón de radiación antena yagi

Datasheet de antena Patch para interiores tenemos.

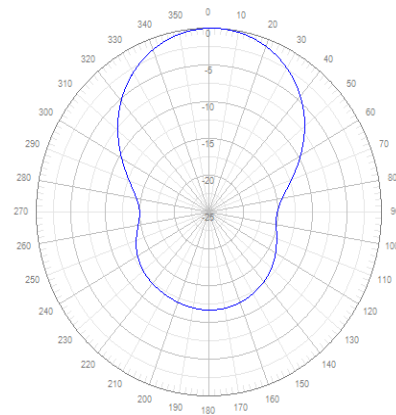


Figura 42. Patrón de radiación antena parabólica de rejilla

Por patrón de radiación la antena Patch para interiores presenta menos lóbulos esparcidos en la parte posterior y ayuda al sistema dando óptimos resultados.

5.4. Pruebas para medir rango y velocidad

5.4.1. Distancia 0.6 metros

En las gráficas que a continuación se detalla la posición del objeto, al iniciar la ejecución de los VIs top Tx y top Rx, se debe esperar que se establezca los NI-USRP 2920 un determinado tiempo de aproximadamente 5 minutos.

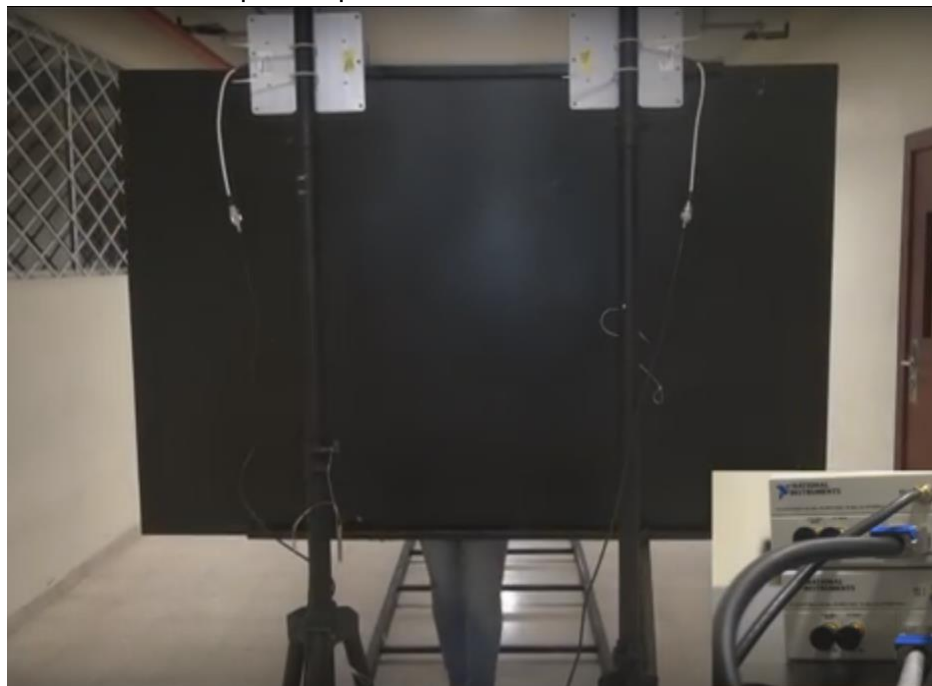


Figura 43. Se muestra detallada la posición a 0.6 m

Esta es la primera posición en la cual se comienza a tomar los datos de potencia, el objeto es posicionado a 0.6 m.

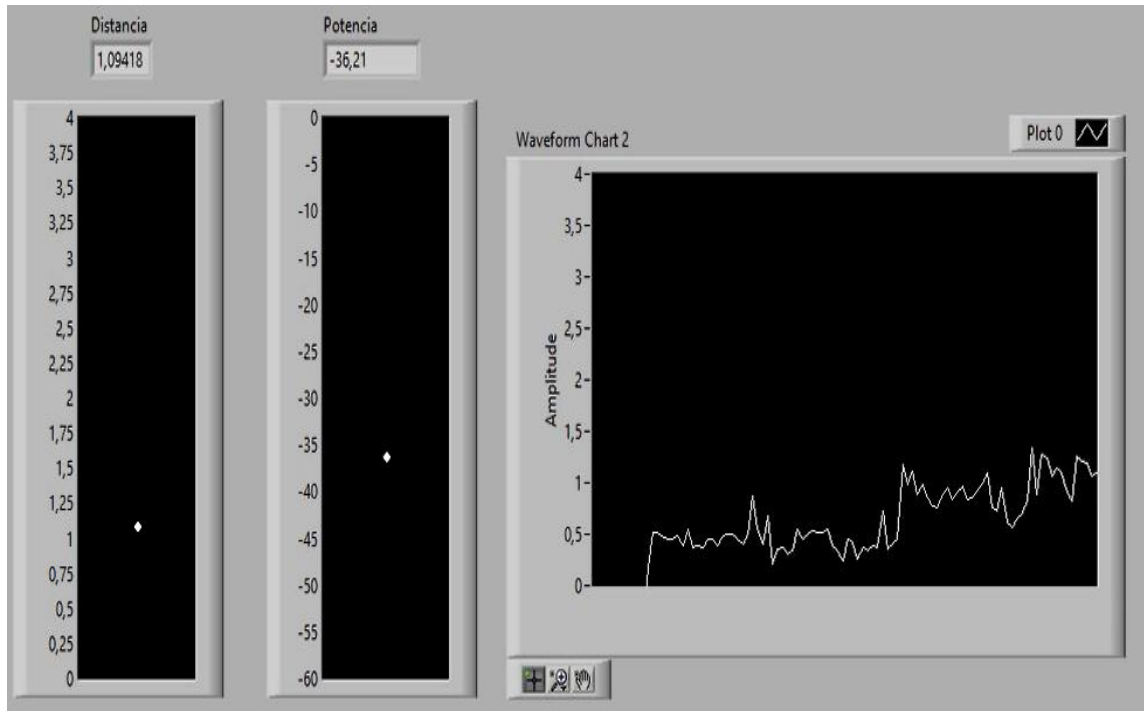


Figura 44. Inicio de la potencia recibida

Al ser movido el obstáculo a dicha distancia, se observa en la gráfica el ruido de la señal filtrada. Empezamos con una potencia de (-36,21 dBm) y distancia 1.09m, a partir del momento en que el obstáculo es movido se tiene que estabilizar.

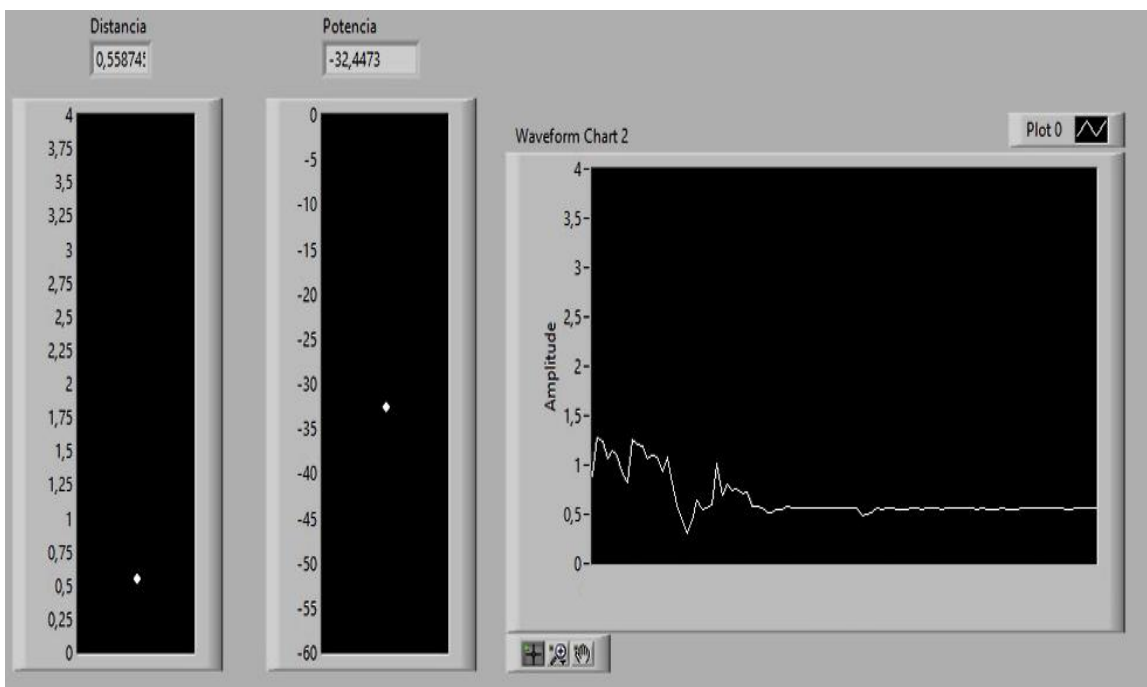


Figura 45. Durante estabilización de la señal recibida

Una vez estabilizado el sistema, gráfica la señal y se puede notar que es constante y no muestra muchos picos debido al cambio brusco del objeto a ser movido a la distancia deseada.

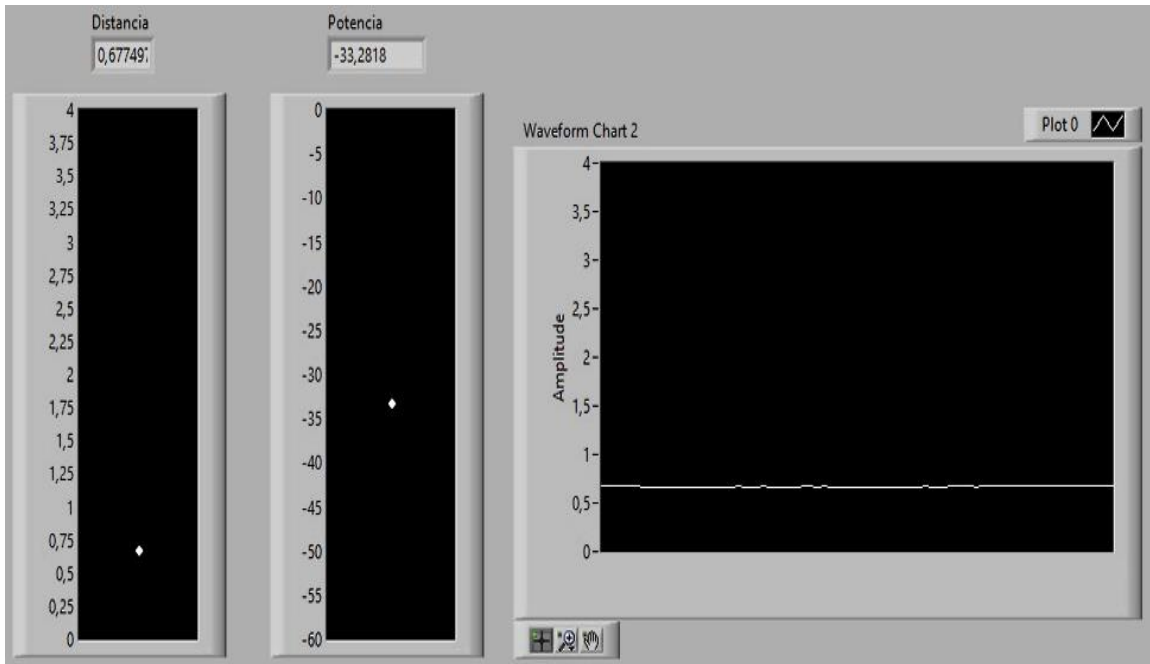


Figura 46. Potencia estabilizada con respecto al objeto a 0.6m

La potencia recibida a medida que el objeto se acerca se gana potencia, luego de un determinado tiempo este se muestra un poco más estable y cercano a la realidad posicionado el objeto a (-33,2818 dBm).

5.4.2. Distancia 1.2 metros

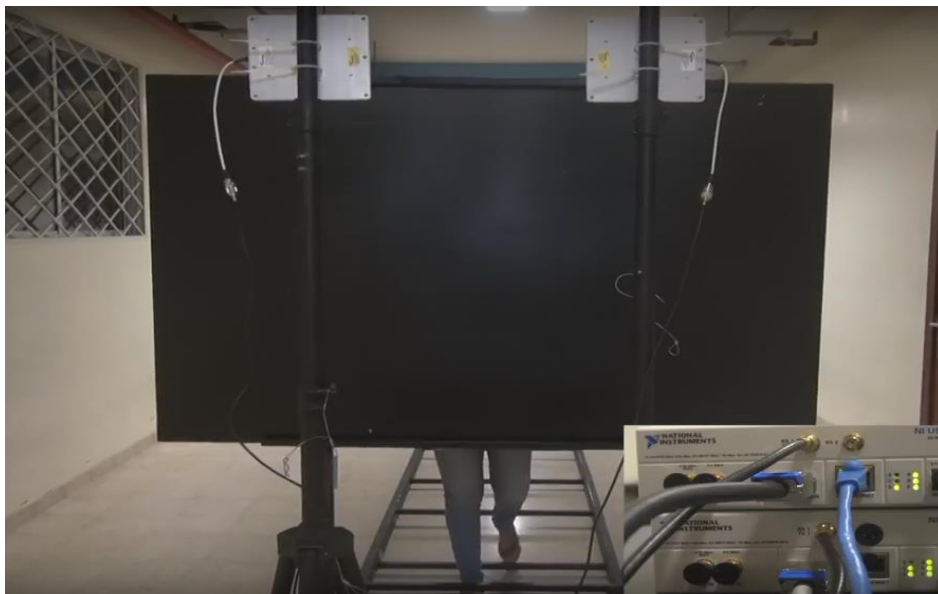


Figura 47. Se muestra detallada la posición a 1.2 m

Como fue mención anteriormente, la señal muestra un cambio al objeto ser movido a una distancia de 1.2 m donde podemos apreciar en las imágenes a continuación:

Esta es la tercera posición en la cual se comienza a tomar los datos de potencia, el objeto es posicionado a 1.2 m.

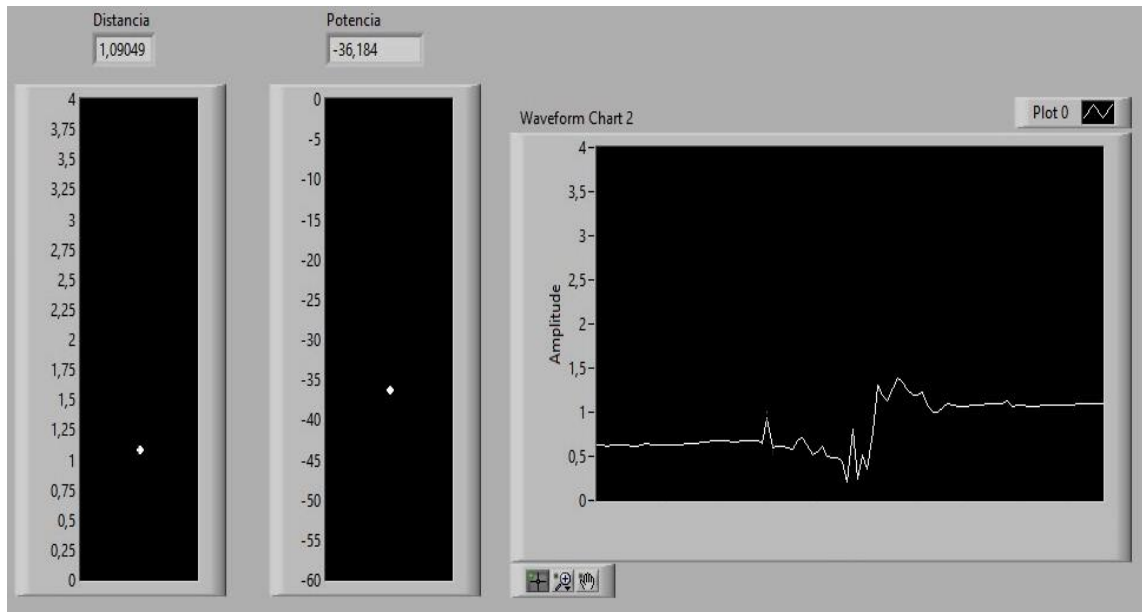


Figura 48. Potencia recibida (-36,184 dBm)

Se observa en la gráfica el ruido de la señal filtrada, el paso de una posición con respecto a otra luego de haberse estabilizado. Empezamos con una potencia de (-36,18 dBm) y distancia 1.09 m.

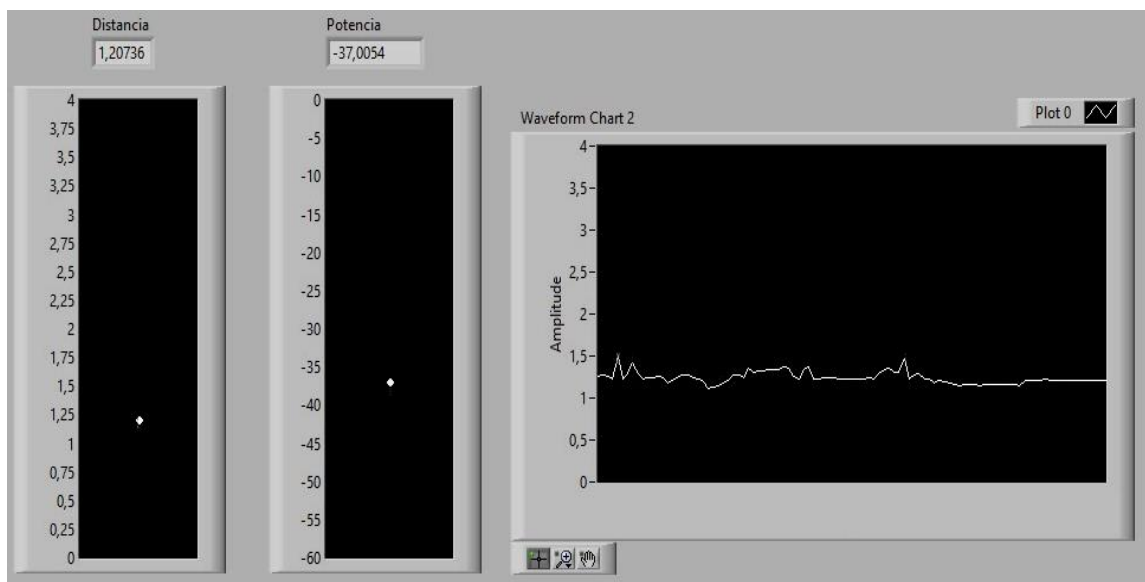


Figura 49. Durante estabilización de la Potencia recibida

Una vez estabilizado el sistema, gráfica la señal y se puede notar que empieza a ser constante y no muestra muchos picos debido al cambio brusco del objeto.

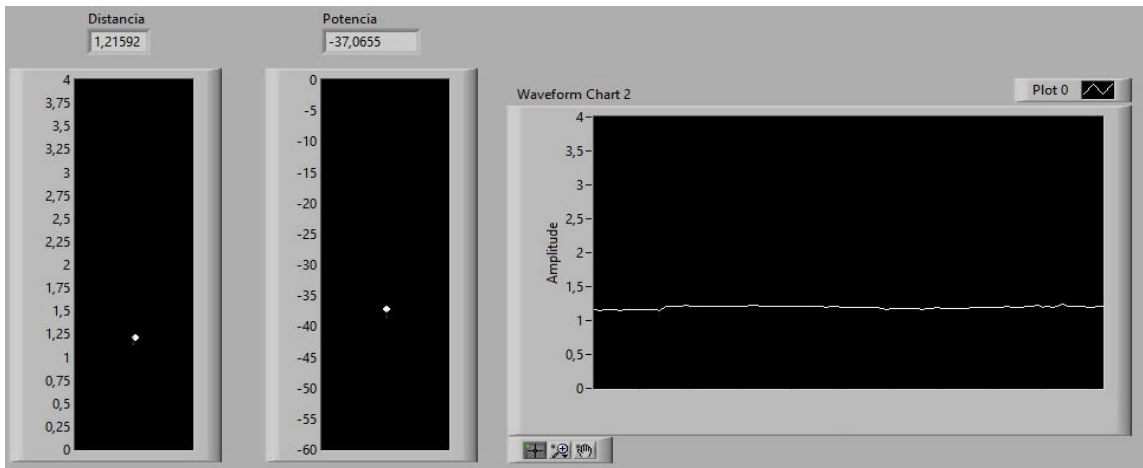


Figura 50. Estabilización de la Potencia recibida (-37.0655 dBm)

Luego de pasar el tiempo estimado se puede observar la estabilización de la potencia con respecto al obstáculo con potencia (-37.06 dBm) y la distancia aproximada a la real de 1.21 m.

5.4.3. Distancia 1.8 metros

Este es el último punto en esta sección de análisis, ya que para los siguientes puntos tomados los resultados se pueden apreciar en la tabla 5, además de que para todos los puntos se realizó de la misma manera en como se ha expuesto.

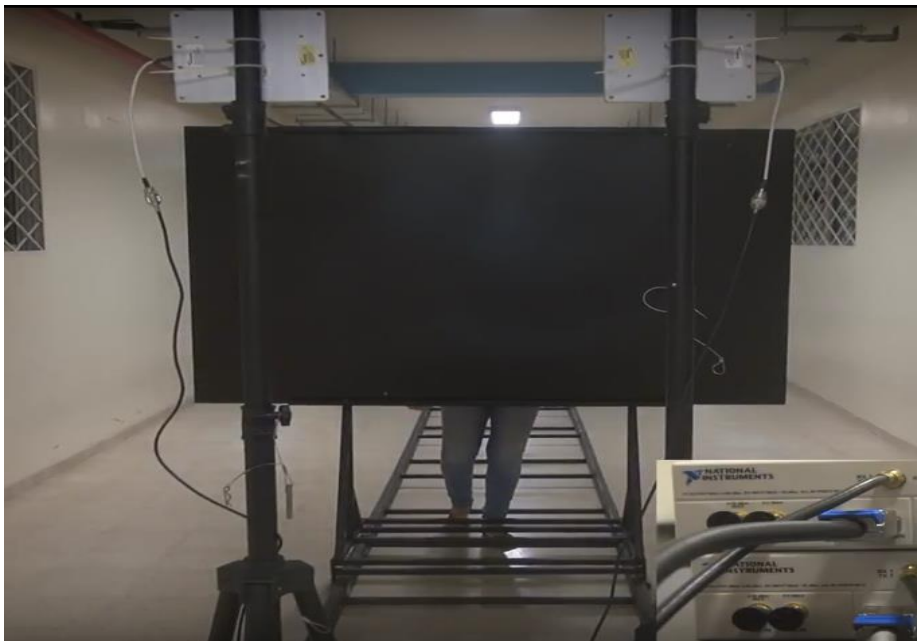


Figura 51. Se muestra detallada la posición a 1.8 m

En esta imagen se muestra la posición del obstáculo a 1.8 m, a partir de que es movido el objeto comienza a tomar muestras para la determinación de la ecuación de distancia.

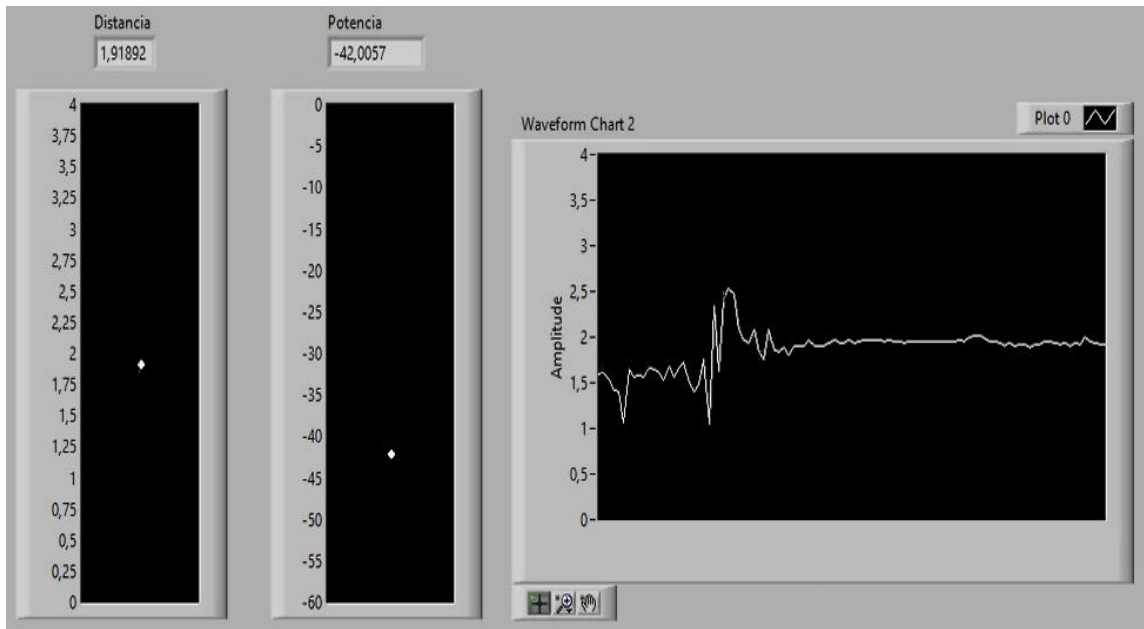


Figura 52. Potencia recibida (-42,0057 dBm)

Inicia con una potencia de (-42.01), de la misma forma que las anteriores se muestra la potencia recibida con ruido y filtrada, también se aprecia de que a medida que se aleja el objeto se pierde potencia.

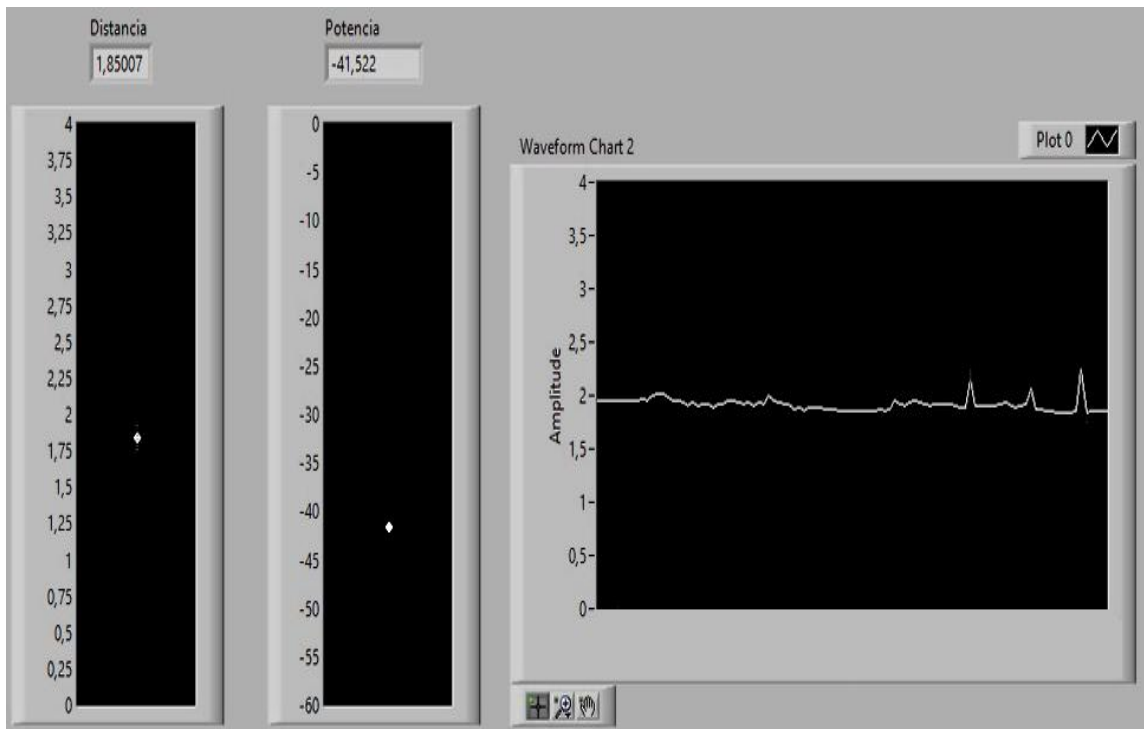


Figura 53. Proceso de estabilización Potencia (-41.522 dBm)

Durante la estabilización, la potencia varía y se observan picos debido a que aún no se encuentra totalmente estabilizada.

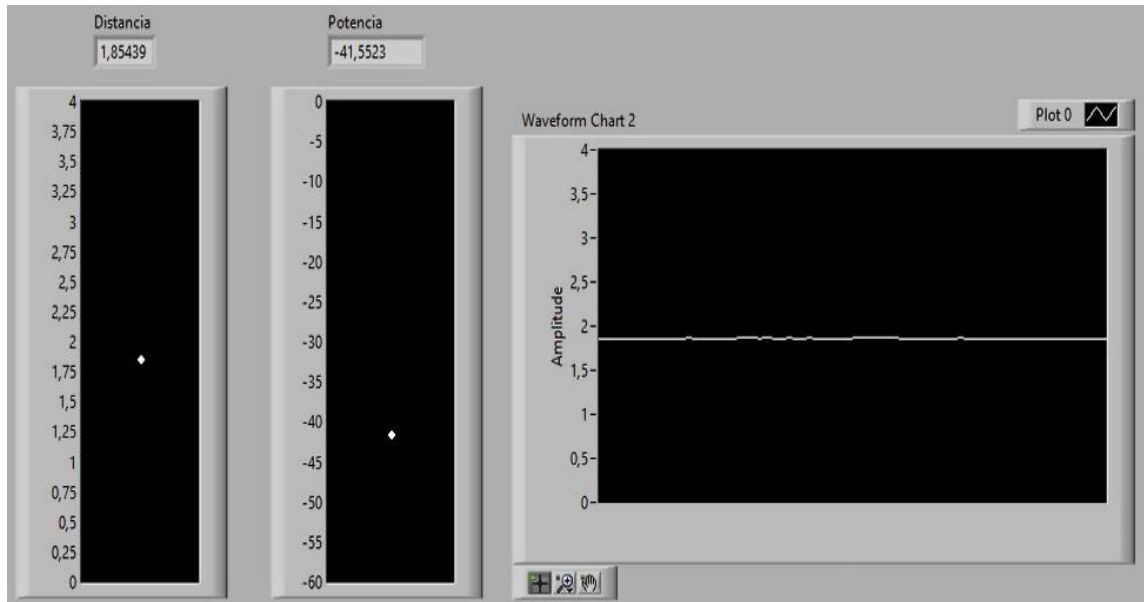


Figura 54. Estabilización de la Potencia recibida (-41.5523 dBm)

Como se ha podido apreciar se logra llegar a la distancia real aproximada de 1.8 m, estabilizada su potencia a -42.55 dBm y una gráfica constante.

5.5. Velocidad

La velocidad se la determinó con la ecuación del radar, anteriormente expuesta, para esta sección se pudo determinar que los USRP 2920 contienen osciladores internos y esto hace que el "Frequency offset" no se encuentre en cero.

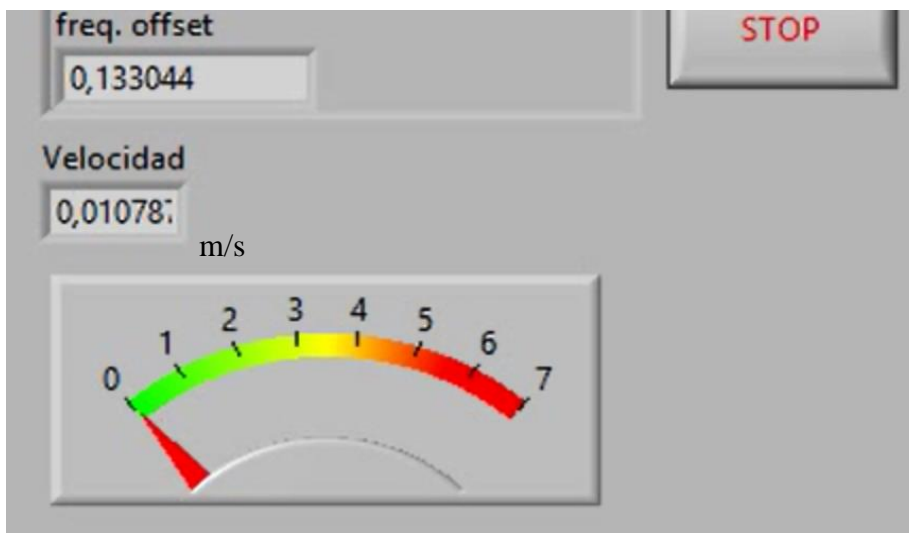


Figura 55. Inicio de Velocidad

Debido a los osciladores internos que contienen los USRP-2920 la velocidad no se encontrará en 0.

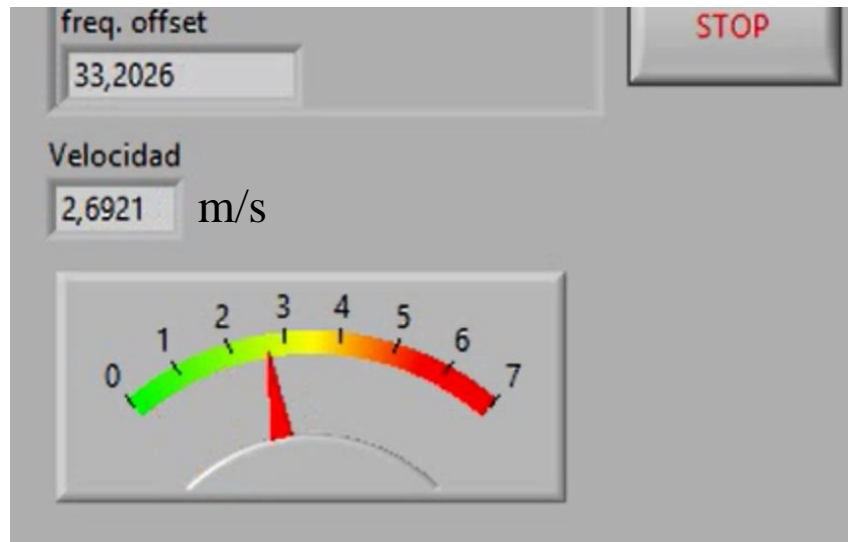


Figura 56. Durante las pruebas de Velocidad

El obstáculo es movido a una velocidad media mostrada en la figura 40, a medida que este se mueve se puede observar el cambio de velocidad.

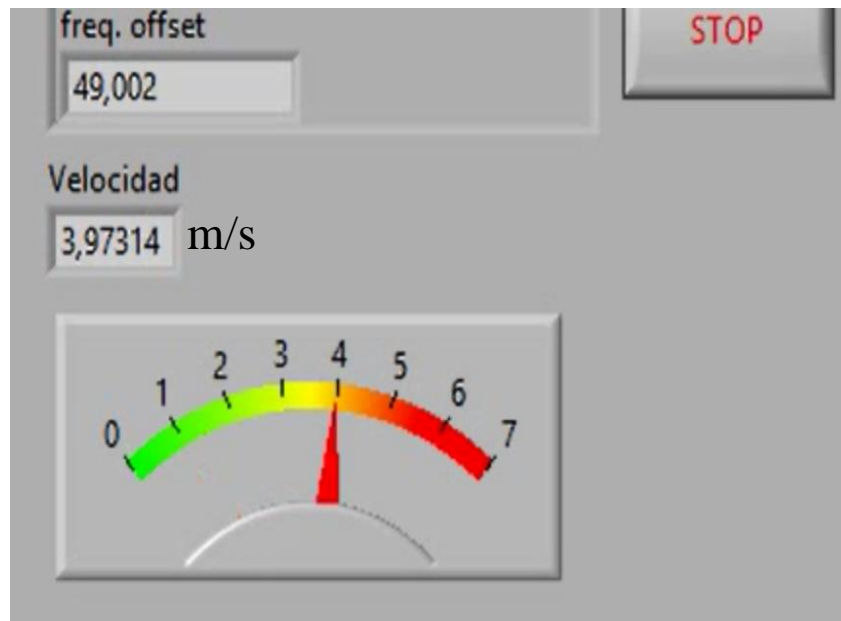


Figura 57. Máxima Velocidad alcanzada

Para esta prueba el objeto llega a un máximo de 3,97314 m/s aproximado, es movido manualmente y este efecto es apreciado en el software con ello se demuestra el efecto Doppler de un objeto. Las pruebas fueron realizadas en el bloque B piso 3 de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil.

6. CONCLUSIONES

Se logró diseñar un prototipo de radar en base a un estudio de escenarios y equipos.

El escenario definido para la implementación del proyecto fue el pasillo del tercer piso del bloque B, Manteniendo los equipos a su temperatura de funcionamiento.

Las antenas Patch para interiores fueron seleccionadas en base a las características de su funcionamiento.

Mediante pruebas realizadas se logró medir rango y velocidad de un objeto.

El diseño de cinco prácticas se realizó una guía para futuros proyectos en base a este sistema.

7. RECOMENDACIONES

- a) Para que las pruebas realizadas obtengan resultados favorables se recomienda tomar en consideración lo siguiente:
- b) Evitar la manipulación de los conectores mientras los USRP estén trabajando.
- c) La temperatura óptima para el funcionamiento de los USRP se da en el rango de 18 a 22°C,
- d) Utilizar antenas tipo bocinas, ya que su ancho de haz y patrón de radiación permiten tener mejores resultados para la implementación de proyecto tipo radar.
- e) Realizar las pruebas en lugares que presenten la mínima cantidad de obstáculos.
- f) El sistema presenta los mejores resultados cuando el obstáculo a utilizar se encuentra cerca a 90° con respecto al suelo, y es de un material uniforme y antireflectivo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alvaréz, R., & Shagñay, S. (2015). Obtenido de Dspace Escuela Politécnica del Chimborazo:
<http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/4476/1/98T00071.pdf>
- Arrambi, M. (Junio de 2005). Obtenido de Repositorio Dspace:
<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/393/TesisMarcial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Calvo, M., & Martínez, R. (2008). *ETSI de Telecomunicaciones Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/csat/material/CSA08-5-ModulacionesDigitales_2p
- CommScope. (2016). *CommScope*. Obtenido de CommScope, Inc:
<http://www.commscope.com/catalog/wireless/pdf/part/89/CELLMAX-D-CPUSE.pdf>
- Corcuera, P. (s.f.). *Universidad de Cantabria*. Obtenido de http://personales.unican.es/corcuerp/LabView/Slides/Intro_LabView.pdf
- Crespo, J. (2012 - 2013). *Departamento de Tecnología Fotónica y Bioingeniería - Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de http://www.dtf.fi.upm.es/sites/www.dtf.fi.upm.es/files/TCI-9_%20Radar.pdf
- Espinoza, W., Freire, M., Chavez, T., Gomez, J., & Ramos, B. (2015). Adaptación del algoritmo Schmidl & Cox a sistemas de portadora única en un canal inalámbrico . *Ingenius Revista de Ciencia y Tecnología* , 36-43.
- INSTRUMENT, N. (s.f.). *Características operacionales de NI USRP*. NATIONAL INSTRUMENT.
- Jolly, A. (2009). *Ingeniero INDEPENDIENTE especialista en Sistemas Industriales y Científicos*. Obtenido de <http://www.ajolly.com.mx/es/desarrollo-consulta-sistema-supervisor-control-prueba-medida/19-LabVIEW.html>
- Juárez, O. (2016). *Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería - UNAM*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10575/Estudio%20De%20Tecnicas%20De%20Modulacion%20Mediante%20Radios%20NI%20USRP.pdf?sequence=1>
- León, S. D. (2014 - 2015). Obtenido de Centro Universitario de la Defensa ENM-Marín:
<http://calderon.cud.uvigo.es/bitstream/11621/35/1/TFG%20De%20Le%C3%B3n%20De%20Leon,%20Santiago%20-%20Marzo%202015.pdf>
- Lopez, I. (Abril de 2011). Obtenido de <http://www.ilopez.es>:
<http://www.ilopez.es/proyectos/telematica/RADAR.pdf>
- Perez, C. (Julio de 2010). *Universidad de Cantabria*. Obtenido de <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Introduccion%20al%20Radar.pdf>

Piedra, L. (2007). Obtenido de Escuela Nacional de Pesca:
http://www.escueladepesca.edu.ar/stcwapuntes/Observador_RADAR.pdf

Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. (s.f.). Obtenido de
http://www.uca.edu.sv/matematica/upload_w/file/REGRESION%20SIMPLE%20Y%20MULTIPLE.pdf

Valdez, E. (25 de Julio de 2006). Obtenido de Tecnológico de Estudios Superiores de ECATEPEC: http://www.tese.edu.mx/documentos2004/5416_SKKOKVV.pdf

Vargas, D. (Marzo de 2014). *upcommons*. Obtenido de Universidad Politecnica de Catalunya
BarcelonaTech:
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/21313?locale-attribute=es>

Zuñiga, S. (Enero de 2014). *Dspace - Universidad Politecnica Salesiana*. Obtenido de
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6850/1/UPS-GT000658.pdf>

9. ANEXOS

9.3. Escenario del Prototipo de Radar



Figura 58. Ubicación de Antenas Tx y Rx



Figura 59. Conexiones de NI - USRP 2920, cable MIMO, cable ETHERNET y cable coaxial

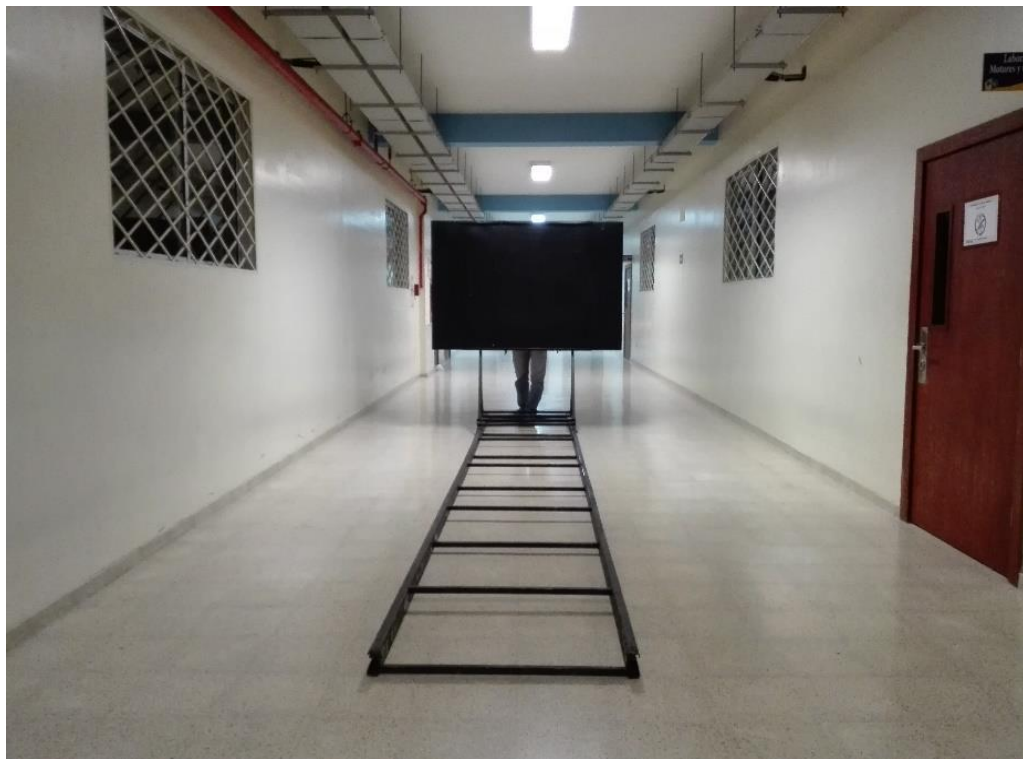


Figura 60. Obstáculo con rieles



Figura 61. Conexión a Laptop, prácticas de laboratorio

9.4. Resultados adquiridos en los escenarios

Escenarios 1: Laboratorio de Telecomunicaciones

Resultados obtenidos

Tabla 6. Datos obtenidos de pruebas dentro del Laboratorio de Telecomunicaciones

Potencia (dBm)	Distancia real (mts)	Distancia medida por el radar (mts)
39,1982648	0.6	1,33814624
31,5071843	0.9	1,72039294
38,8668978	1.2	1,35461518
44,2633775	1.5	1,08641014
30,0589295	1.8	1,7923712
23,6690035	2.1	2,10995053
21,40834937	2.4	2,22230504
34,4133023	2.7	1,57595888

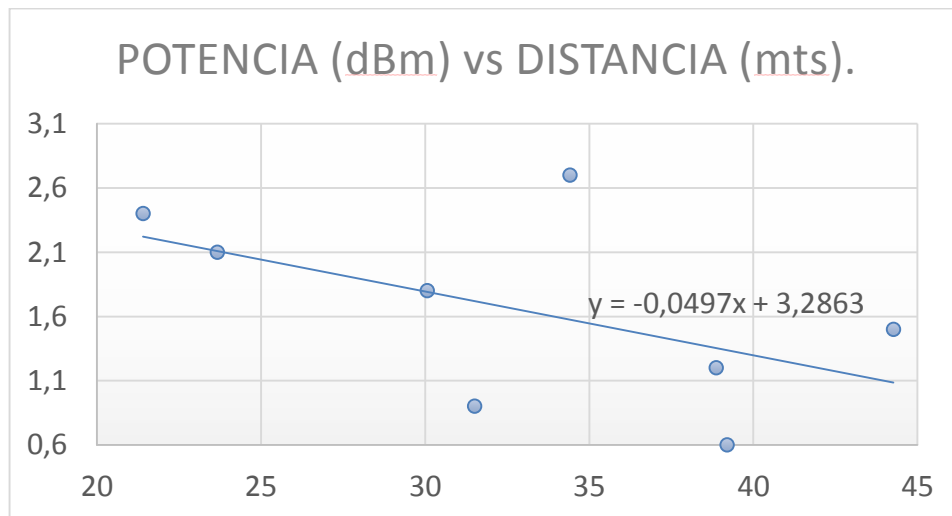


Figura 62. Gráfica de la prueba en el Lab. de Telecomunicaciones

Escenarios 2: Pasillo del bloque B.

Resultados obtenidos

Tabla 7. Datos obtenidos en prueba del pasillo del bloque B

Potencia (dBm)	Distancia real (mts)	Distancia medida por el radar (mts)
21,04600956	0.6	1,562813
36,76127485	0.9	1,8064
26,29531565	1.2	1,644177
22,66974882	1.5	1,587981
23,28338295	1.8	1,597492
24,06342232	2.1	1,609583
26,94460666	2.4	1,654241
31,8010311	2.7	1,729516

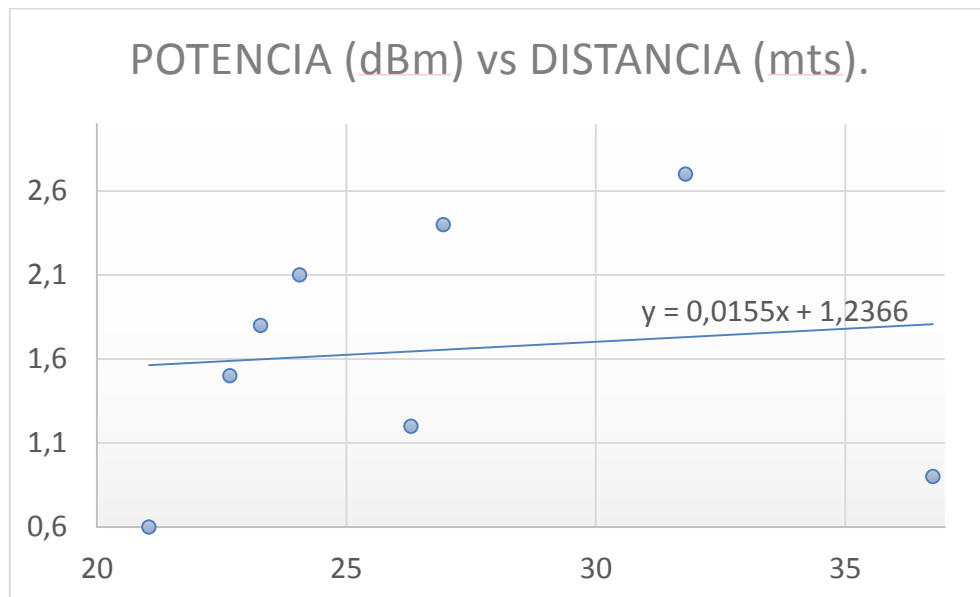


Figura 63. Gráfica de pruebas en el pasillo del bloque B

Escenarios 3: NI-USRP 2920 dentro del laboratorio, antenas y obstáculos en el pasillo

Resultados obtenidos

Tabla 8. Datos obtenidos en prueba del escenario 3

Potencia (dBm)	Distancia real (mts)	Distancia medida por el radar (mts)
33.49532754	0.6	0.707885109
33.97608143	0.9	0.776296387
37.67127664	1.2	1.302122666
38.68443144	1.5	1.446294594
41.67809531	1.8	1.872292963
42.28260809	2.1	1.958315131
45.23258834	2.4	2.378097321
47.88516589	2.7	2.755559106

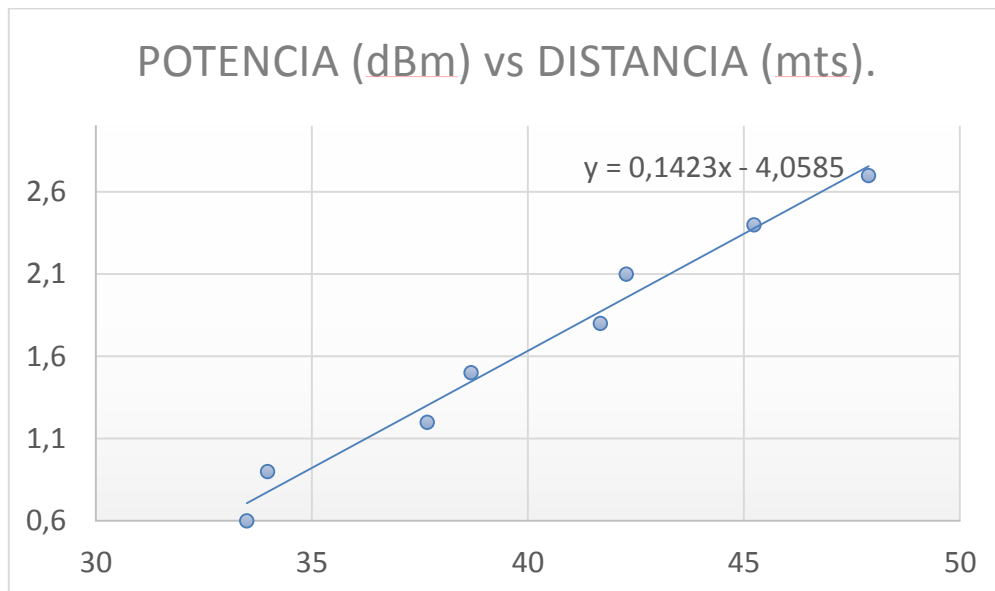


Figura 64. Gráfica de pruebas realizadas en escenario 3



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA

SALESIANA

ECUADOR

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

PRÁCTICA #1

TEMA:

CÁLCULO DEL RANGO DE UN RADAR

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

1) **OBJETIVO GENERAL.**

Medir el rango de detección de un objeto

2) **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

✓ Analizando el tiempo de respuesta de la señal determinar la distancia en la que se encuentra un objeto

3) **MARCO TEÓRICO.**

Rango

Es la distancia medida que se obtiene desde el radar hasta el objetivo detectado.

$$v = \frac{s}{t}$$

$$v = \text{velocidad} \left[\frac{m}{seg} \right]$$

$$s = \text{rango} [m]$$

$$t = \text{segundos} [s]$$

Como la señal tiene retorno su distancia recorrida es dos veces su rango.

$$c_0 = \frac{2R}{t}$$

$$R = \frac{c_0 t}{2}$$

R = distancia entre un objeto y el radar

$$c_0 = \text{velocidad de la luz}; 3 \times 10^8 \left[\frac{m}{seg} \right]$$

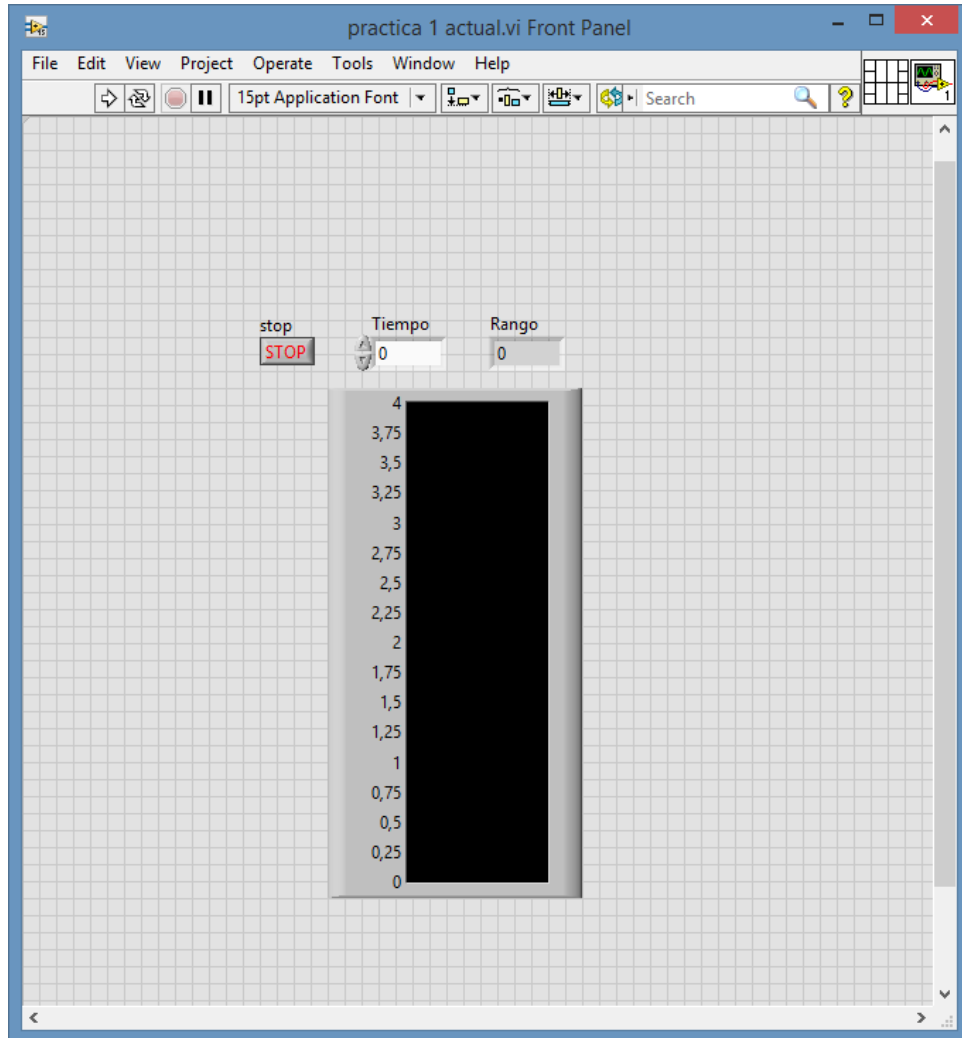
Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

$t = \text{segundos [s]}$

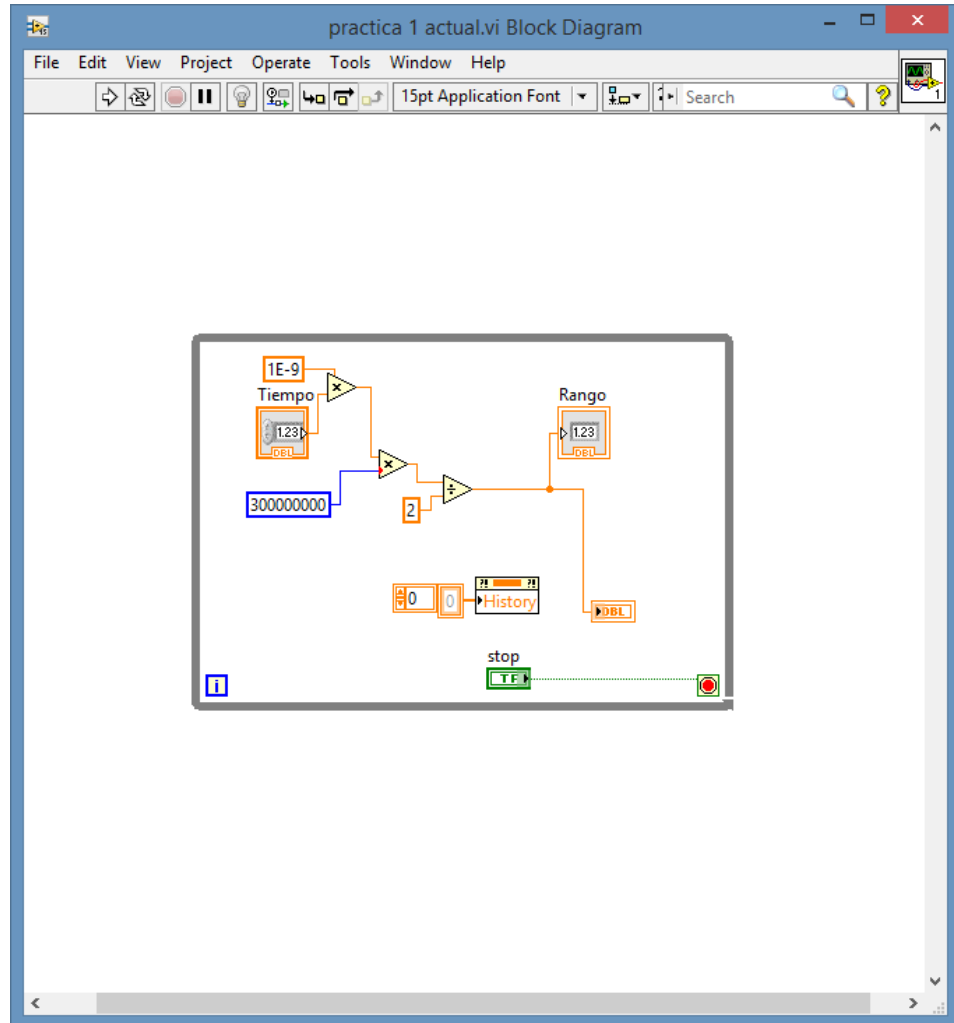
4) PROCEDIMIENTO

Diseño del simulador



Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL



Se sugiere utilizar las funciones mostradas en el diagrama de bloques.

Multiply, Divide>>Paleta de Funciones>>Numeric.

Para crear el “**History Data**” (**Grafico Cerca/Lejos**) en el Waveform Chart creado dar click derecho>>Create>>Property Node>> **History Data**.

History Data se lo usa para mostrar un parámetro que varíe de forma vertical.

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

5) RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ Computador
- ✓ Software: Labview
- ✓ Guía de la práctica

6) REFERENCIA

- Radar. Disponible en:

<http://www.radartutorial.eu/index.es.html>

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA

SALESIANA
ECUADOR

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

PRÁCTICA #2

TEMA:

SIMULACION DE SISTEMA RADAR

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

1) OBJETIVO GENERAL.

Simular un sistema radar utilizando la herramienta LabVIEW.

2) OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Obtener una distancia estimada para un escenario aleatorio.
- ✓ Usando efecto Doppler, obtener una velocidad estimada para el mismo escenario.

3) MARCO TEÓRICO.

Regresion lineal.

Es un metodo estadistico que sirve para encontrar la ecuación de una recta con el uso de varios puntos establecidos.

Para la ecuación de la distancia se utilizó el metodo de regresión lineal, obteniendo una ecuación que relacione la potencia recibida con la distancia a calcular.

Doppler

Es un fenómeno que indica cuando un objeto en movimiento recibe una señal a cierta frecuencia, esta no es la misma que fue enviada por el transmisor.

Para determinar la velocidad de un objeto se utiliza la expresion matematica:

$$V = \frac{cf_D}{2f_{Tx}}$$

$V =$ *Velocidad.*

$c =$ *Velocidad de la luz* $(3 \times 10^8 \frac{m}{s})$.

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

$f_D = \text{Frecuencia Doppler (Frecuencia de recepción} \\ - \text{Frecuencia de transmisión)}.$

$f_{Tx} = \text{Frecuencia de Transmisión}.$

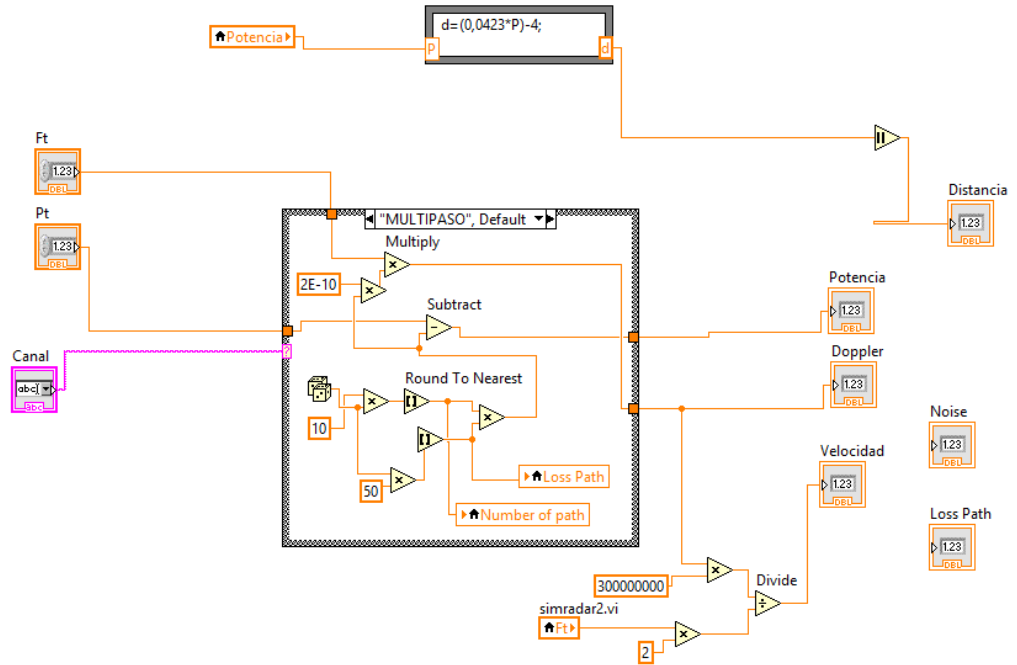
4) PROCEDIMIENTO

Simulación Sistema radar.

Ft	Canal	Potencia	Distancia
1,2E+9	MULTIPASO	7	1921
Pt	Noise	Loss Path	Doppler
10	2	3	0,72
	Number of path		Velocidad
	1		0,09

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

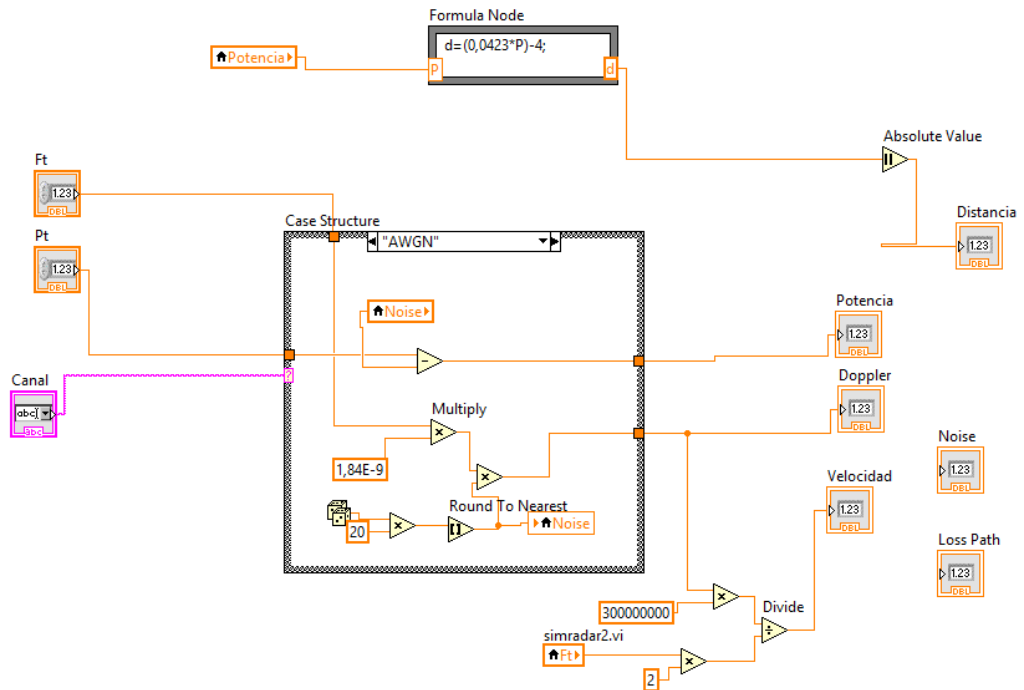
LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL



Ft	Canal	Potencia	Distancia
1,2E+9	AWGN	8	2196
Pt	Noise	Doppler	Velocidad
10	5	11,04	1,38
	Loss Path		
	3		
	Number of path		
	1		

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL



Se sugiere utilizar las funciones mostradas en el diagrama de bloques.

Case Structure, Formula Node >> Paleta de Funciones >> Structures.

Random Number, Multiply, Round To Nearest, Subtract, Divide Absolute Value >> Paleta de Funciones >> Numeric.

Para el Formula Node dar click derecho en los bordes, añadir las entradas y salidas del mismo (Add Input/ Add Output).

Formula Node sirve para calcular una expresión matemática de manera directa.

Para el Combo Box abrir la Paleta de Control >> String & Path, al colocarlo en el Panel Frontal (Front Panel) dar click derecho en el mismo y seleccionar propiedades. Se procede a configurar las opciones del canal.

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

Para la configuración de los casos en Case Structure, escribir las opciones configuradas en el Combo Box.

Recordar que para cada caso va la programación indicada en los diagramas de bloques mostrados anteriormente.

Los resultados de la simulación son en base a un escenario específico. Por lo tanto, los valores de distancia a obtener no serán cercanos a la realidad.

5) RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ Computador
- ✓ Software: Labview
- ✓ Guía de la práctica

6) REFERENCIA

- Introducción a Labview. Disponible en:
<http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/>
- Fundamentos de radar. Disponible en:
<http://www.radartutorial.eu/index.es.html>

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA

SALESIANA
ECUADOR

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

PRÁCTICA #3

TEMA:

RADAR DE ONDA CONTINUA: EFECTO DOPPLER.

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

1) OBJETIVO GENERAL.

Simular un sistema radar de onda continua y demostrar el efecto Doppler utilizando la herramienta LabVIEW.

2) OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Demostrar el efecto Doppler por medio de una señal generada.

3) MARCO TEÓRICO.

Doppler

Es un fenómeno que indica cuando un objeto en movimiento recibe una señal a cierta frecuencia, esta no es la misma que fue enviada por el transmisor.

$$f_D = f_R - f_T$$

f_D = Frecuencia Doppler.

f_R = Frecuencia de recepción

f_T = Frecuencia de Transmisión.

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

4) PROCEDIMIENTO

Efecto Doppler

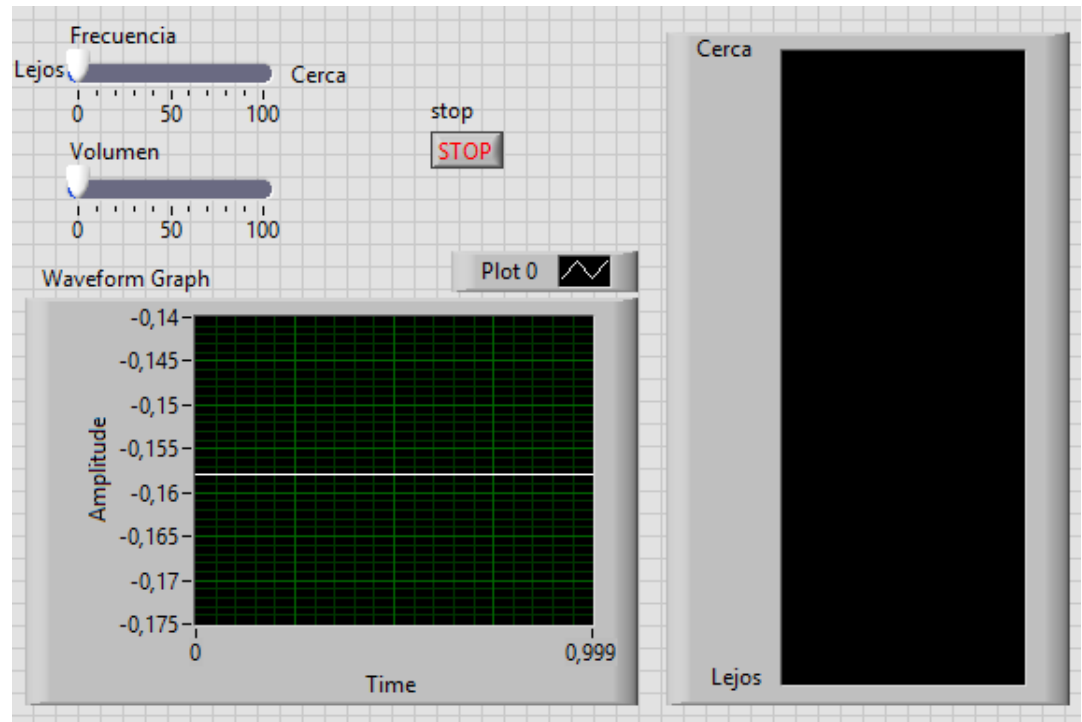


Figura 1. Efecto doppler.vi (Panel frontal)

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

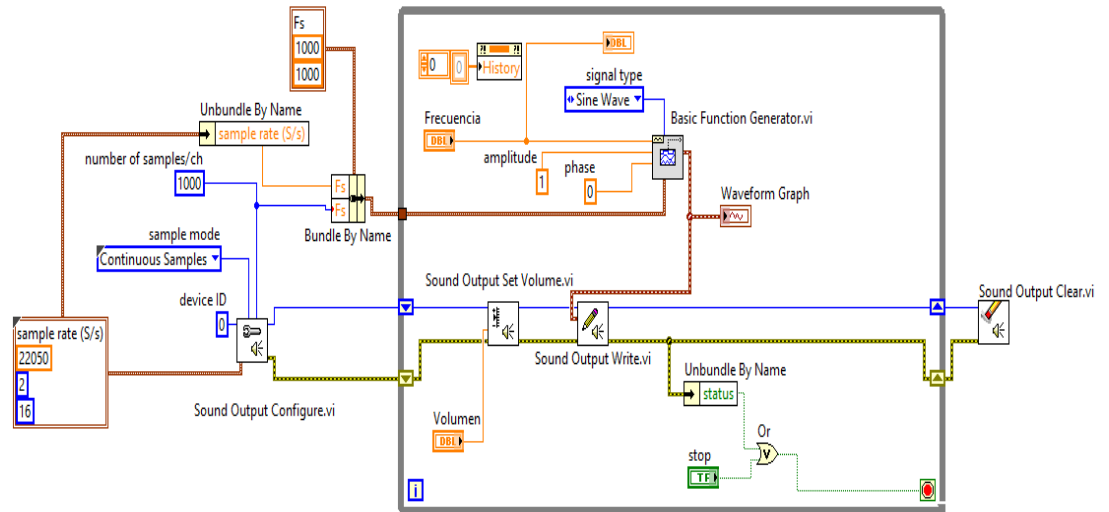


Figura 2. Efecto doppler.vi (Diagrama de bloque)

Se sugiere utilizar las funciones mostradas en el diagrama de bloques.

While Loop>>Paleta de Funciones>>Structures.

Unbundle By Name, Bundle By Name>>Paleta de Funciones>>Cluster, Class & Variant.

Waveform Graph>>Paleta de Control>>Graph.

Sound Output Configurate.vi, Sound Output Set volume.vi, Sound Output Write.vi, Sound Output Clear.vi>>Graphics & Sound>> Sound>>Output.

Basic Function Generator.vi >> Signal Processing>>Waveform Generation.

Para crear el “**History Data**” (**Grafico Cerca/Lejos**) en el Waveform Chart creado dar click derecho>>Create>>Porperty Node>> **History Data**.

History Data se lo usa para mostrar un parámetro que varíe de forma vertical.

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

Como se observa en el diagrama de bloques en la entrada y salida del lazo While se tiene unos iconos de forma de flechas hacia arriba y hacia abajo. Se los conoce como **Shift Register** y su función es de retroalimentar a una variable. Se los crea haciendo click derecho en el túnel de salida o de entrada y seleccionando **Replace Whith Shift Register**.

Los túneles de salida o entrada se refieren a los cuadrados que se forman a las salidas o entradas de los lazos o estructuras de programación.

5) RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ Computador
- ✓ Software: Labview
- ✓ Guía de la práctica

6) REFERENCIA

- Introducción a Labview. Disponible en:
<http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/>
- Radar. Disponible en:
<http://www.radartutorial.eu/index.es.html>

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

PRÁCTICA #4

TEMA:

DETERMINAR LA DISTANCIA DE UN OBJETO EN MOVIMIENTO

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

1) OBJETIVO GENERAL.

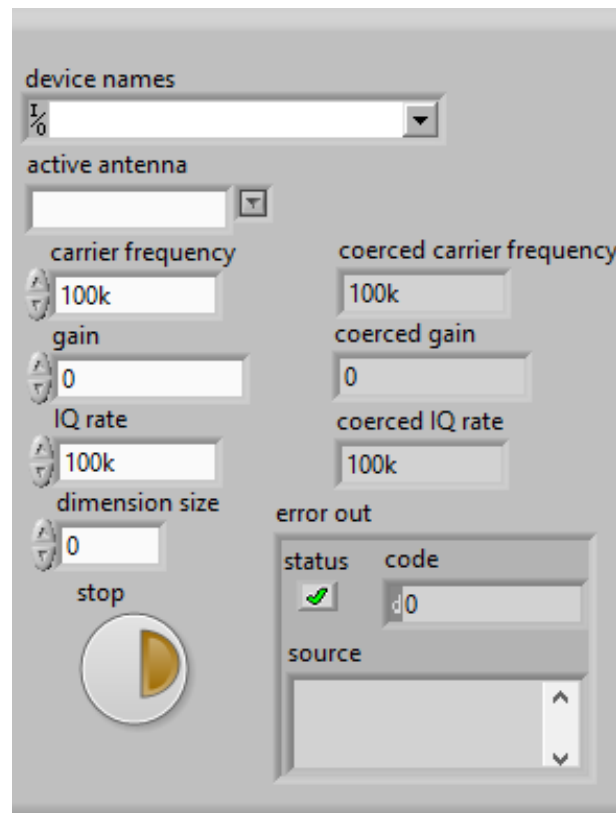
Implementar un prototipo de radar usando los equipos USRP 2920.

2) OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Programar un VI (**Virtual Instrument**) que permita la lectura de potencia de un objeto.
- ✓ Obtener la distancia de un objeto usando el modelo de regresión lineal.

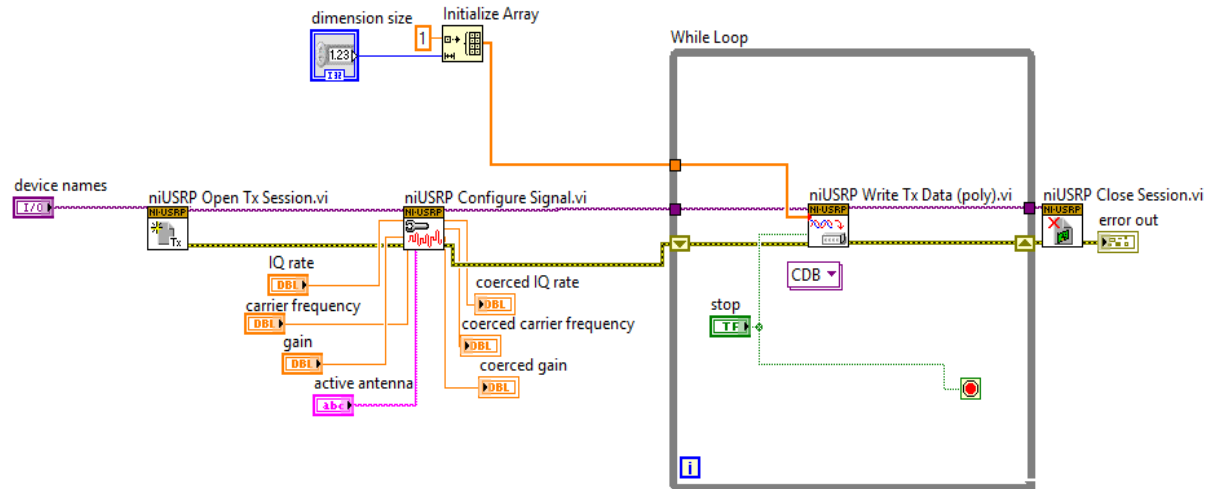
3) PROCEDIMIENTO

Parte A – Diseño de un sistema de transmisión inalámbrico.



Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL



Se sugiere utilizar las funciones mostradas en el diagrama de bloques.

niUSRP Open Tx Session.vi, niUSRP Configurate Signal.vi, niUSRP Write Tx Data (poly).vi, niUSRP Close Session.vi>>Paleta de Funciones>>Instrument I/O>>Instrument Drivers>>NI – USRP>>Tx.

Initialize Array>>Paleta de Funciones>>Array.

While Loop>>Paleta de Funciones>>Structures.

Recordar que en los bloques de funciones de Tx crear los controles e indicadores.

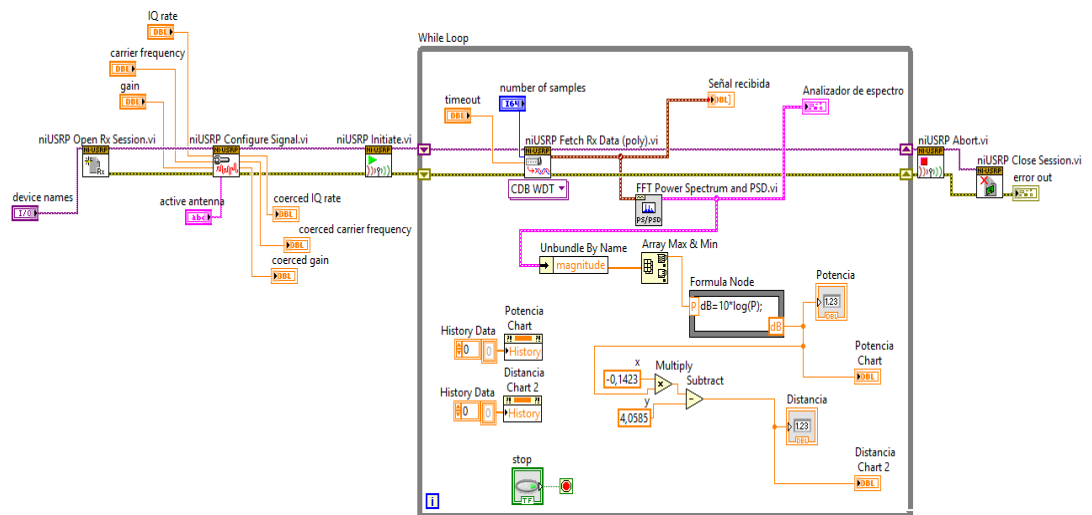
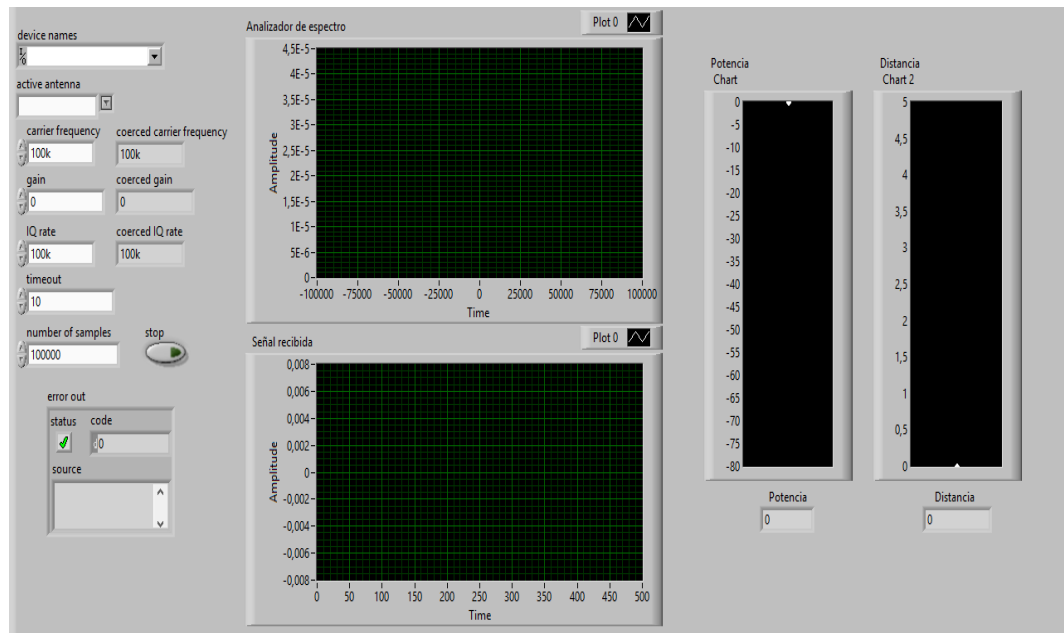
Como se observa en el diagrama de bloques en la entrada y salida del lazo While se tiene unos iconos de forma de flechas hacia arriba y hacia abajo. Se los conoce como **Shift Register** y su función es de retroalimentar a una variable. Se los crea haciendo click derecho en el túnel de salida o de entrada y seleccionando **Replace With Shift Register**.

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

Los túneles de salida o entrada se refiere a los cuadrados que se forman a las salidas o entradas de los lazos o estructuras de programación.

Parte B - Diseño de un sistema de recepción para el radar.



Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

Se sugiere utilizar las funciones mostradas en el diagrama de bloques.

niUSRP Open Rx Session.vi, niUSRP Configure Signal.vi, niUSRP Initiate.vi, niUSRP Fetch Rx Data (poly).vi, niUSRP Abort.vi, niUSRP Close Session.vi>>Paleta de Funciones>>Instrument I/O>>Instrument Drivers>>NI – USRP>>Rx.

While Loop>>Paleta de Funciones>>Structures.

FFT Power Spectrum and PSD>>Signal Processing>>Waveform Measurements.

Multiply, Subtract>>Paleta de Funciones>>Numeric.

Array Max & Min>>Paleta de Funciones>>Array.

Unbundle By Name>>Paleta de Funciones>>Cluster, Class & Variant.

Waveform Graph>>Paleta de Control>>Graph.

Para crear el “**History Data**” (**Grafico de Distancia/Potencia**) en el Waveform Chart creado dar click derecho>>Create>>Property Node>> **History Data**.

History Data se lo usa para mostrar un parámetro que varíe de forma vertical.

Parte C – Ejecución del sistema radar.

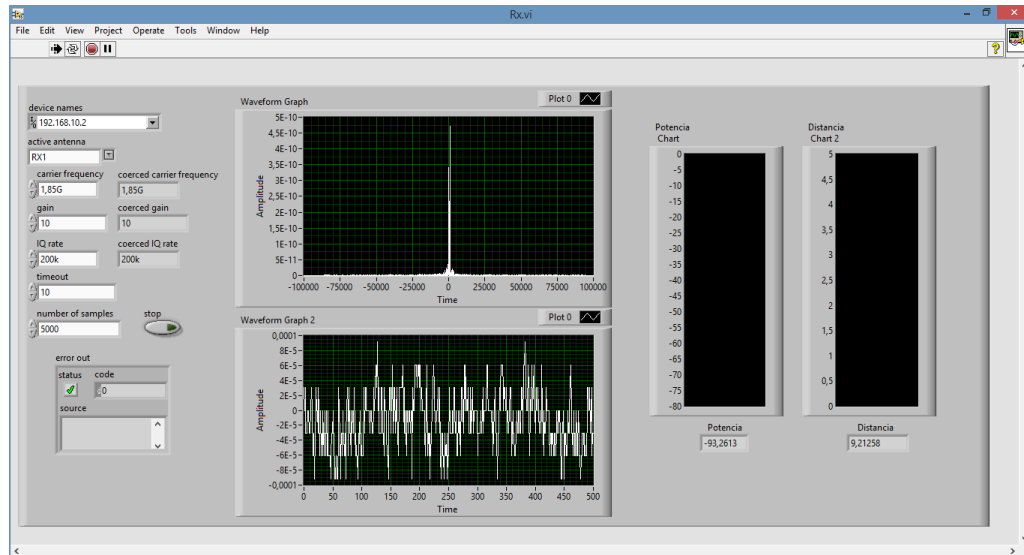
Antes de ejecutar los VIs recordar la configuración de las direcciones IP de los equipos (Ver practica # 2, literal C).

Para realizar la ejecución, configuramos los parámetros mostrados en el panel frontal y damos click en el icono Play.

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

En esta imagen se puede observar el receptor cuando no se está transmitiendo señal.



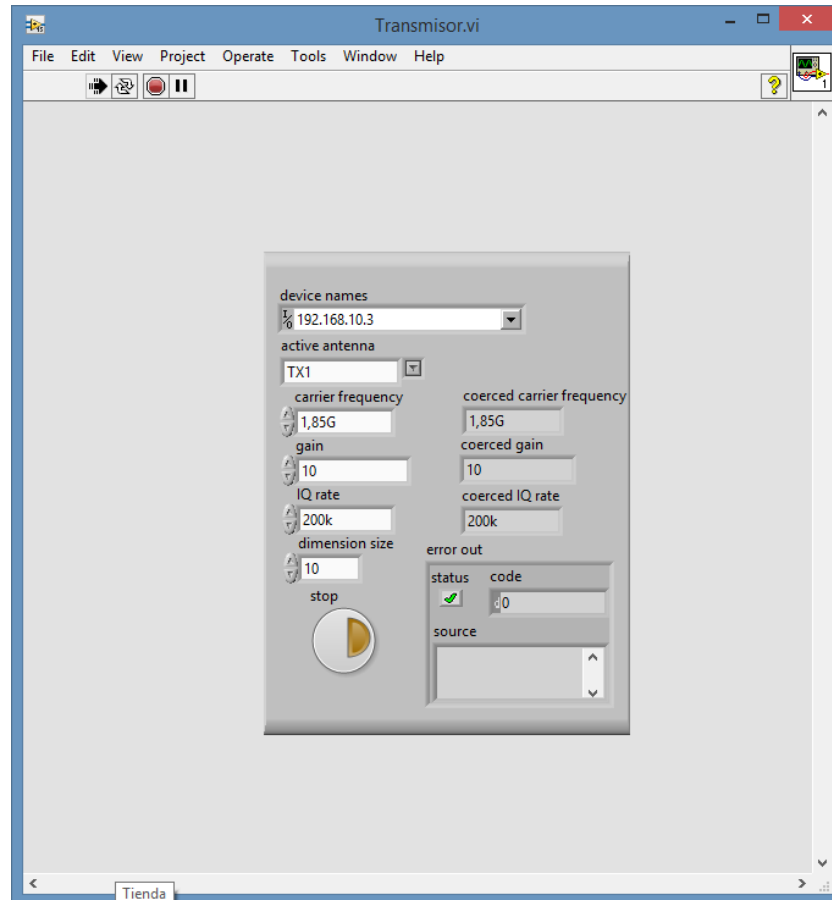
En esta imagen se puede observar el receptor cuando no se está transmitiendo señal.

Lo que se muestra en el Waveform Graph 2 (Señal Recibida) corresponde a las señales del ambiente y ruido. Debido a esto, la potencia recibida es muy pequeña y no se observa algún punto en el Potencia Chart. La ecuación que se obtuvo correspondía a lecturas de potencia de hasta mínimo -47dB, por lo tanto la distancia que se calcula no corresponde a un valor real.

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

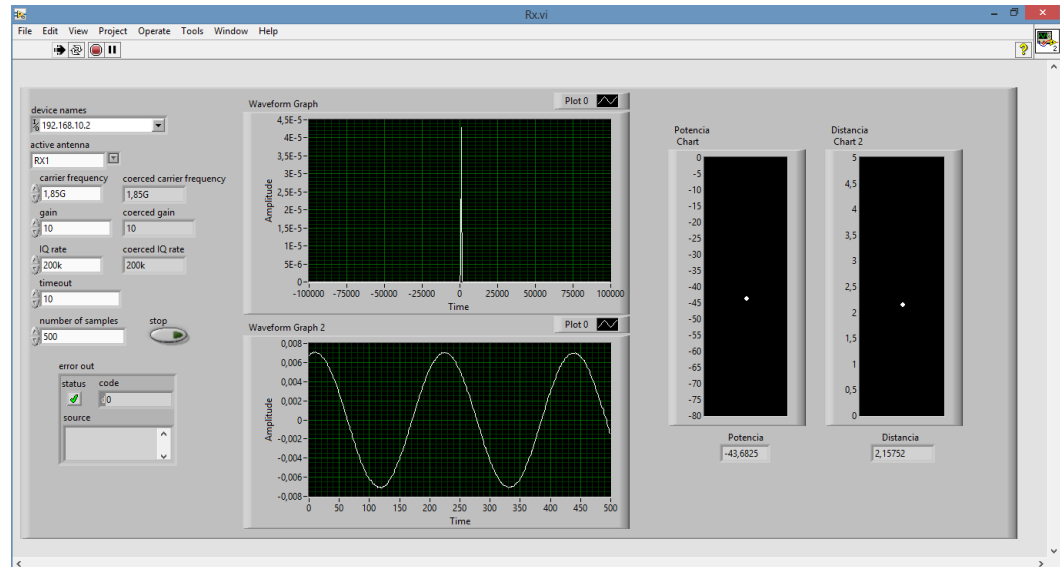
En esta imagen se puede observar el transmisor.



Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

Señal receptada con el transmisor ejecutando.



A diferencia del primer grafico (receptor cuando no se está transmitiendo señal), la señal recibida es uniforme y de amplitud constante. De igual manera las lecturas de potencia y distancia corresponden a valores más aproximados a la realidad.

4) RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ Computador
- ✓ Software: Labview
- ✓ 2 USRP 2920
- ✓ 2 Antenas Patch Andrew CELLMAX-D
- ✓ 1 cable de red
- ✓ 1 cable MIMO
- ✓ Guía de la práctica

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

5) REFERENCIA

- NI USRP-292x/293x Datasheet. Disponible en:
www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-355
- Datasheet Antena Patch Andrew CELLMAX-D. Disponible en:
http://es.commscope.com/catalog/wireless/product_details.aspx?id=89

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA

SALESIANA
ECUADOR

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

PRÁCTICA #5

TEMA:

**CALCULAR LA VELOCIDAD DE UN OBJETO, UTILIZANDO LOS PARAMETROS
ADQUIRIDOS A TRAVÉS DEL SOFTWARE**

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

1) OBJETIVO GENERAL.

Calcular la velocidad de un objeto en movimiento

2) OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Obtener la velocidad de un objeto usando dos VIs preestablecidos.

3) MARCO TEÓRICO.

La velocidad se obtiene a partir de la siguiente expresión matemática:

$$V = \frac{cf_D}{2f_{Tx}}$$

$V =$ *Velocidad.*

$c =$ *Velocidad de la luz* $\left(3 \times 10^8 \frac{m}{s}\right)$.

$f_D =$ *Frecuencia Doppler (Frecuencia de transmisión – Frecuencia de recepción).*

$f_{Tx} =$ *Frecuencia de Transmisión.*

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

4) PROCEDIMIENTO

En el top_rx.vi ingresar la expresión matemática de la velocidad del marco teórico.

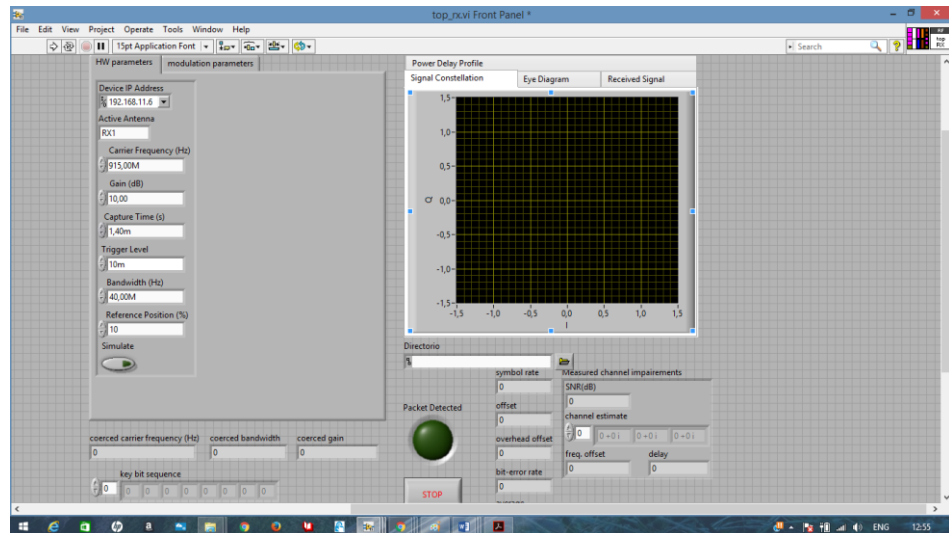


Figura 2. top_rx.vi (Panel frontal)

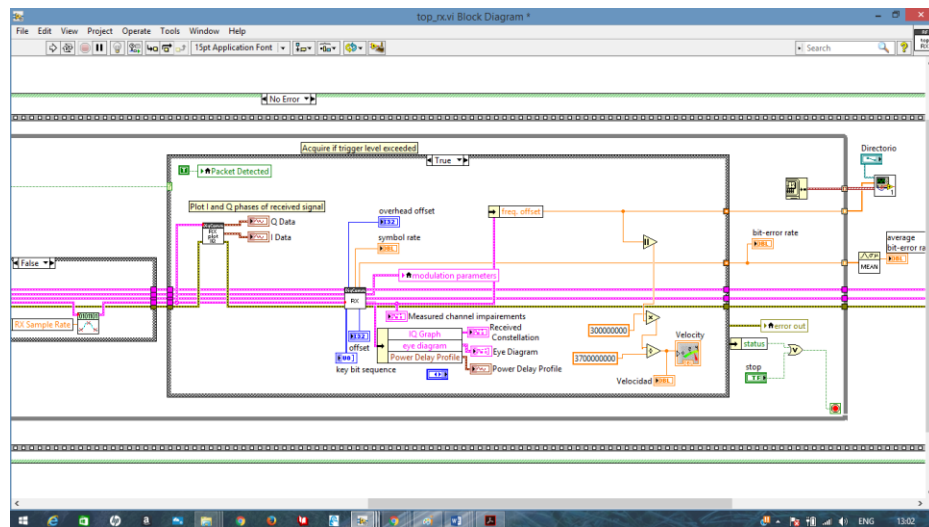


Figura 3. top_rx.vi (Diagrama de bloques)

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera:

LABORATORIO	TELECOMUNICACIONES
CARRERA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEDE	GUAYAQUIL

Se sugiere utilizar las funciones mostradas en el diagrama de bloques.

Multiply, Divide, Absolute Value>>Paleta de Funciones>>Numeric.

5) RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ Computador
- ✓ Software: Labview
- ✓ 2 USRP 2920
- ✓ 2 Antenas Patch Andrew CELLMAX-D
- ✓ 1 cable de red
- ✓ 1 cable MIMO
- ✓ Guía de la práctica

6) REFERENCIA

- NI USRP-292x/293x Datasheet. Disponible en:
www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-355
- Datasheet Antena Patch Andrew CELLMAX-D. Disponible en:
http://es.commscope.com/catalog/wireless/product_details.aspx?id=89

Elaborado por: Francisco Isaac Vera Rosales. Andrea Michelle Mora Guijarro.	Revisado por: Ing. Carlos Bosquez Msc.	Aprobado por: Ing. Víctor Huilcapi Msc.
Fecha de Elaboración 13/11/16	Fecha de Revisión	Número de Resolución Consejo de Carrera: