



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA RADAR UTILIZANDO
SISTEMA SDR A TRAVÉS DE TECNOLOGÍA USRP PARA APLICACIONES
TOPOGRÁFICAS.

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES

AUTOR: CHRISTIAN VLADIMIR MERCHÁN CUNO

TUTOR: Dr. HUGO OSWALDO MORENO AVILES Ph.D.

Riobamba-Ecuador

2016

@2016, Christian Vladimir Merchán Cuno

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación con el tema “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA RADAR UTILIZANDO SISTEMA SDR A TRAVÉS DE TECNOLOGÍA USRP PARA APLICACIONES TOPOGRÁFICAS”, de responsabilidad del señor Christian Vladimir Merchán Cuno, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna		
DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Franklin Moreno		
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Dr. Hugo Moreno A. Ph.D.		
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Pedro Infante.		
MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

“Yo Christian Vladimir Merchán Cuno, declaro ser el autor responsable del presente trabajo de titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA RADAR UTILIZANDO SISTEMA SDR A TRAVÉS DE TECNOLOGÍA USRP PARA APLICACIONES TOPOGRÁFICAS”, que fue elaborado en su totalidad por mi persona bajo la dirección del Ingeniero Hugo Moreno, haciéndome responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo”.

Christian Vladimir Merchán Cuno

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida y la fortaleza necesaria para poder sobrellevar cada obstáculo encontrado en el camino y por haberme brindado una maravillosa familia. A mis padres Jaime y Lida por el sacrificio y esfuerzo realizado para brindarme la oportunidad de alcanzar este objetivo, por ser mi ejemplo de trabajo, por sus consejos y todo el apoyo brindado, a mis amados hermanos Patricia, Jenny, Verónica, Silvia, Alex, Byron, Graciela, Ariel, por haberme brindado todo su apoyo y no permitir nunca darme por vencido. A mis abuelitos Julio y Carmen por haberme brindado todo su cariño, sus experiencias y sabiduría que me sirvieron para lograr mi objetivo. También a mis sobrinos Vanessa, Pablo, Matías por llenar mi vida de alegría con todas sus ocurrencias que me permitieron sobrellevar los problemas presentados.

Christian

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Electrónica Telecomunicaciones y Redes por haberme brindado la oportunidad de conseguir esta profesión y ser una persona útil para la sociedad. A mis maestros quienes me brindaron todo su conocimiento de la mejor manera de una manera muy especial a mi director y asesor Ing. Hugo Moreno por la paciencia y el apoyo brindado para la realización del presente trabajo ya que sin su ayuda, conocimientos y orientación este trabajo no hubiese podido ser posible.

A Dios y la virgen Santa Lucia por haberme dado salud, sabiduría y haberme cuidado a lo largo de todo este trayecto, a mis tíos, tías, primos por todo el apoyo moral brindado. También quiero agradecer a mis amigos y todas las personas que conocí a lo largo de la carrera, que fueron un aporte para poder lograr este objetivo, a todos mis más infinitos agradecimientos.

Christian

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
DERECHO DE AUTOR.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
TABLA DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiv
INDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	
1. MARCO TEORICO	7
1.1. RADAR	7
1.1.1. Orígenes del radar.....	7
1.1.2. Definición de radar	9
1.1.3. Funcionamiento del Radar	9
1.1.4. Clasificación de los radares.....	11
1.1.4.1. Según el número de antenas.....	11
1.1.4.2. Según el Blanco.....	13
1.1.4.3. Según su finalidad.....	14
1.1.4.4. Por su forma de onda.....	15
1.1.5. Frecuencias de radar.....	15
1.1.6. Radar FM-CW.....	17
1.1.6.1. Señal Chirp	17
1.1.7. Análisis del sistema Radar.....	19

1.1.7.1.	<i>Resolución del Sistema.....</i>	19
1.1.7.2.	<i>Distancia Máxima de Análisis de Señal.....</i>	20
1.1.7.3.	<i>Detección del Objeto.....</i>	21
1.1.7.4.	<i>Distancia del Objeto Detectado.....</i>	22
1.2.	PERFILES TOPOGRAFICOS.....	24
1.2.1.	<i>Definición.....</i>	24
1.2.2.	<i>Tipos de perfiles topográficos.....</i>	24
1.2.2.1.	<i>Perfiles Longitudinales.....</i>	24
1.2.2.2.	<i>Perfiles Transversales.....</i>	25
1.2.3.	<i>Escalas.....</i>	25
1.3.	Técnicas Radar para Reconstrucción de Perfiles Topográficos.....	26
1.4.	SISTEMA SDR.....	28
1.4.1.	<i>Origen.....</i>	28
1.4.2.	<i>Definición.....</i>	29
1.4.3.	<i>Estructura SDR.....</i>	30
1.4.4.	<i>Características Técnicas.....</i>	31
1.4.5.	<i>Características de los dispositivos SDR.....</i>	33
1.4.6.	<i>Tipos de SDR.....</i>	34
1.5.	Universal Software Radio Peripheral (USRP).....	35
1.5.1.	<i>Estructura del USRP.....</i>	35
1.6.	FPGA.....	38
1.7.	Tarjeta USRP B210.....	39
1.7.1.	<i>Estructura Física de la Tarjeta USRP B210.....</i>	39
1.7.2.	<i>Estructura funcional de la tarjeta USRP B210.....</i>	41

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLOGICO.....	42
2.1.	Introducción.....	42
2.2.	Diseño del sistema radar.....	42
2.3.	Requerimientos del sistema.....	43
2.3.1.	<i>Descripción de los componentes requeridos por el sistema.....</i>	44
2.3.1.1.	<i>Tarjeta USRP B210.....</i>	44
2.3.1.2.	<i>Antena periódica logarítmica (LP0965).....</i>	46

2.3.1.3.	<i>Cable SMA-SMA</i>	47
2.3.1.4.	<i>Computadora</i>	48
2.3.2.	Matlab	49
2.4.	USRP y Matlab	50
2.5.	Diagrama funcional del Sistema radar	52
2.5.1.	Transmisor	53
2.5.1.1.	<i>Generación de señal chirp</i>	53
2.5.1.2.	<i>USRP en transmisión</i>	54
2.5.2.	Receptor	55
2.5.2.1.	<i>USRP en recepción</i>	55
2.5.2.2.	<i>Recepción de señal</i>	55
2.5.3.	Procesamiento de datos recibidos	56

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS	58
3.1.	Introducción	58
3.2.	Conexión PC-USRP	58
3.3.	Implementación del sistema propuesto	60
3.4.	Construcción de cable SMA para simular distancia	61
3.5.	Pruebas de funcionamiento del sistema radar	64
3.5.1.	<i>Pruebas de transmisión</i>	65
3.5.2.	<i>Proceso de Recepción</i>	67
3.6.	Procesamiento de la señal recibida	69
3.6.1.	<i>Pruebas realizadas a 1m</i>	69
3.6.2.	<i>Pruebas realizadas a 5m</i>	72
3.6.3.	<i>Pruebas realizadas a 10 m</i>	73
3.7.	Ancho de banda de la USRP y resolución del radar	76
3.8.	Análisis económico del Trabajo de Titulación	78
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	80
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Características de la USRP B210.....	44
Tabla 2-2:	Características de la antena LP0965.....	46
Tabla 3-2:	Características del cable SMA-SMA.....	47
Tabla 4-2:	Características que debe poseer las computadoras usadas.....	48
Tabla 1-3:	Características del cable RG-58.....	62
Tabla 2-3:	Características del conector SMA macho.....	62
Tabla 3-3:	Parámetros del transmisor.....	68
Tabla 4-3:	Resolución del sistema radar implementado.....	77
Tabla 5-3:	Costo del Trabajo de Titulación.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Funcionamiento básico de un Radar.	11
Figura 2-1:	Radar monoestático.	12
Figura 3-1:	Radar biestático.	12
Figura 4-1:	Radar multiestático.	13
Figura 5-1:	Radar de seguimiento.	14
Figura 6-1:	Radar de vigilancia.	14
Figura 7-1:	Espectro electromagnético.	16
Figura 8-1:	Bandas de frecuencias usadas por los radares.	16
Figura 9-1:	Forma de onda down-chirp.	18
Figura 10-1:	Forma de onda up-chirp.	18
Figura 11-1:	Forma de onda triangular.	19
Figura 12-1:	Señal Transmitida – Reflejada.	20
Figura 13-1:	Transformada Rápida de Fourier.	21
Figura 14-1:	Transformada Rápida de Fourier de la multiplicación.	23
Figura 15-1:	Perfil topográfico.	24
Figura 16-1:	Representación de una imagen a escala.	26
Figura 17-1:	Escáner Laser Aerotransportado.	27
Figura 18-1:	Radar de Penetración Terrestre.	27
Figura 19-1:	Funcionamiento de GeoSAR.	28
Figura 20-1:	Diagrama de bloques funcionales de SDR.	30
Figura 21-1:	Composición de un sistema SDR.	31
Figura 22-1:	Bloques principales del USRP.	37
Figura 23-1:	Diagrama de bloques principales del USRP.	38
Figura 24-1:	Estructura física de la tarjeta USRP B210.	40
Figura 25-1:	Diagrama de bloques de la USRP B210.	41
Figura 1-2:	Diseño propuesto del sistema radar.	43
Figura 2-2:	Vista frontal de la USRP B210.	45
Figura 3-2:	Vista posterior de la USRP B210.	45

Figura 4-2:	Antena LP0965.....	47
Figura 5-2:	Cable SMA-SMA.....	48
Figura 6-2:	Interfaz de trabajo de Matlab.	50
Figura 7-2:	Conexión PC-USRP.....	51
Figura 8-2:	Diagrama funcional del sistema propuesto.	52
Figura 9-2:	Bloques que componen la señal chirp.....	53
Figura 10-2:	Señal chirp generada.....	54
Figura 11-2:	Bloques que conforman la recepción de la señal.....	55
Figura 12-2:	Señal recibida por el radar.....	56
Figura 13-2:	Multiplicación de la señal original y la señal recibida.	57
Figura 14-2:	Transformada de Fourier de la multiplicación.....	57
Figura 1-3:	Conexión Física entre la PC y la USRP.....	59
Figura 2-3:	Comprobación de comunicación PC-USRP.....	60
Figura 3-3:	Modificaciones realizadas en el diseño propuesto.	61
Figura 4-3:	Conector SMA macho.....	63
Figura 5-3:	Cable coaxial RG-58.....	63
Figura 6-3:	Cable construido para el sistema radar.....	64
Figura 7-3:	Sistema radar implementado.....	64
Figura 8-3:	Comprobación de comunicación PC-USRP en transmisión.....	65
Figura 9-3:	Parámetros configurados en la transmisión.....	66
Figura 10-3:	Datos transmitidos.....	67
Figura 11-3:	Comprobación de la comunicación PC-USRP en recepción.....	67
Figura 12-3:	Parámetros configurados en el receptor.....	68
Figura 13-3:	Datos recibidos por el receptor.....	69
Figura 14-3:	Sistema conectado con el cable de 1m.....	70
Figura 15-3:	Señal recibida con el cable de 1m.....	70
Figura 16-3:	Multiplicación de la señal original y la señal recibida con el cable de 1m ..	71
Figura 17-3:	Transformada de Fourier de los resultados a 1m.....	71
Figura 18-3:	Mensaje mostrado con las pruebas a 1m.....	72
Figura 19-3:	Sistema conectado con el cable de 5m.....	72

Figura 20-3:	Transformada de Fourier de los resultados a 5m	73
Figura 21-3:	Mensaje mostrado con las pruebas a 5m	73
Figura 22-3:	Sistema conectado con el cable de 10m.	74
Figura 23-3:	Señal recibida con el cable de 10m	74
Figura 24-3:	Multiplicación de la señal original y la señal recibida con el cable de 10m	75
Figura 25-3:	Transformada de Fourier de los resultados a 10m	75
Figura 26-3:	Mensaje mostrado con las pruebas a 10m	76

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	Distancia del Blanco	10
Ecuación 2-1:	Ancho de Banda.....	20
Ecuación 3-1:	Resolución del Sistema.....	20
Ecuación 4-1:	Distancia Máxima Teórica.....	20
Ecuación 5-1:	Distancia Máxima Practica	20
Ecuación 6-1:	Señal Transmitida	21
Ecuación 7-1:	Señal Recibida	21
Ecuación 8-1:	Señal Chirp Transmitida	22
Ecuación 9-1:	Frecuencia Variante en el Tiempo	22
Ecuación 10-1:	Rapidez en el Cambio de Frecuencia.....	22
Ecuación 11-1:	Retardo en la señal Chirp transmitida y recibida	22
Ecuación 12-1:	Posición del Objeto Detectado.....	23
Ecuación 13-1:	Resultado de la multiplicación de señales	23
Ecuación 1-3:	Resolución de un radar	76
Ecuación 2-3:	Ancho de banda de un radar FMCW	76
Ecuación 3-3:	Resolución de un radar FMCW	77

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Instalación de paquete USR-Radio desde Matlab
ANEXO B	Datasheet USRP B210
ANEXO C	Datasheet Cable coaxial RG58
ANEXO D	Datasheet Antena LP0965
ANEXO E	Código del Transmisor
ANEXO E	Código del Receptor
ANEXO F	Código del Procesamiento de Datos

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se diseñó e implementó un sistema radar utilizando sistema Software Defined Radio (SDR) a través de Tecnología Universal Software Radio Periphera (USRP) para aplicaciones topográficas. El radar implementado permite estimar la distancia que existe entre un transmisor y un receptor. A partir del método analítico se consideró el sistema mediante un diagrama de bloques, interrelacionando todos los elementos del sistema para que trabajen en conjunto. El sistema cuenta con una parte de transmisión y otra de recepción, los mismos que se estructuran de una forma similar, transmisor y receptor se componen por una USRP que se encargan de todas las funciones de radiofrecuencia. El sistema también se compone de una computadora para el transmisor y otra para recepción que deben poseer sistema operativo Windows 7 y el software Matlab para realizar la configuración necesaria y así las tarjetas lleven a cabo su función. Las tarjetas se comunican con las computadoras mediante una interfaz USB 3.0, así la configuración realizada se envía a la USRP. Se propuso realizar un sistema con antenas, pero no se obtuvo la potencia requerida y las antenas no poseían la ganancia necesaria para que las señales lleguen a una distancia mayor a 1m. Para solucionar el inconveniente se optó reemplazar las antenas con cable coaxial de diferentes longitudes. Con la ayuda de las tarjetas USRP se implementó un sistema radar con una resolución de 6 m que se probó a diferentes distancias, reduciendo la cantidad de hardware que compone un sistema de radar tradicional. Para aplicar el uso de antenas al sistema se recomienda incluir una etapa de amplificación y antenas de buena ganancia que permitirá contar con la potencia necesaria para irradiar la señal a diferentes puntos para luego procesar la información y graficar los perfiles topográficos.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <TECNOLOGÍA DE COMUNICACIONES>, <AMPLIFICACIÓN>, <CABLE COAXIAL>, <FUNCIONES DE RADIOFRECUENCIA>, <GANANCIA>, <SOFTWARE (MATLAB)>, <TARJETA USRP>.

SUMMARY

In the current research, it was designed and implemented a radar system through a Software Defined Radio System (SDR) via Universal Software Radio Technology Peripheral (USRP) for surveying applications. The radar which was implemented allows estimating the distance between a transmitter and a receiver. From the analytical method, the system was considered by a block diagram to interlink all the possible elements of the system for working together. The system has a transmission and a reception part which are structured in a similar way. The transmitter and receiver are composed by a USRP, the same that deal with all the radio frequency functions. The system has two computers for the transmitter and for receiving which must include Windows 7 operating system and the Matlab software to perform the necessary configuration, and with this, the cards may carry out their function. The cards are connected to the computers through a USB 3.0 interface, so the configuration is sent to the USRP. It was proposed to develop a system with antennas, but the antennas did not have the necessary benefits because the required power was not obtained to reach a greater distance of 1m. To solve the problem the antennas were replaced with different lengths of coaxial cable. With the help of USRP cards, a radar system was implemented with a resolution of 6m that was tested at different distances reducing the amount of hardware that a traditional radar system has. To apply the use of antennas in the system, it is recommended to include an amplification and antennas stage in good conditions, the same which will provide the power required to radiate the signal at different points and then, process the information and plot the topographic profiles.

KEYWORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <COMMUNICATIONS TECHNOLOGY>, <AMPLIFICATION>, <COAXIAL CABLE>, <RADIOFREQUENCY FUNCTIONS >, <GAIN>, <SOFTWARE (MATLAB)>, < USRP CARD>.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de las telecomunicaciones, las señales de radio u ondas electromagnéticas tienen como su objetivo principal, permitir la comunicación entre dos puntos separados por una distancia. El uso de las señales de radio revolucionó por completo el mundo de las comunicaciones ya que permitía un intercambio de información de una manera más rápida de las usadas en tiempos anteriores.

Aunque estos descubrimientos tecnológicos tuvieron como objetivo eliminar la dificultad de comunicación entre lugares que se encuentran separados por grandes distancias, también se usaron con otros fines principalmente para el uso militar. La guerra ha dado paso a la investigación de diferentes tecnologías con fin de usarlas en las mismas, el uso de tecnología para usos militares dio origen a la denominada “Guerra Electrónica”.

La “Guerra Electrónica” tuvo sus orígenes durante la Segunda Guerra Mundial, durante la cual se realizaron varias investigaciones con el fin de ganar la guerra. Uno de los grandes descubrimientos durante esas investigaciones fue el radar al que fue de mucha utilidad durante el desarrollo de la guerra principalmente para la teledetección, posteriormente el radar recibiría muchas más aplicaciones.

La visión humana puede ser considerada como un sistema de teledetección ya que gracias a ella se puede caracterizar detalles de los objetos que observamos. Sin embargo nuestra visión también presenta algunas dificultades, la sensibilidad espectral de nuestros ojos permiten observar solamente algunos tipos de energía que se denomina espectro visible, de ahí que otras formas de energía como el calor y las ondas electromagnéticas son completamente imperceptibles para nuestra visión.

Desde su descubrimiento el radar ha sido usado para ayudar a extender los límites de detección que presenta la visión humana. Un radar es un sistema usado para la detección y localización de objetos que son imperceptible por la visión humana. Opera mediante la transmisión de algún tipo de forma de onda sinusoidal por ejemplo.

Aunque el radar ofrece algunas ventajas no se lo considera como un sustituto del ojo, ya que no puede resolver detalles tan específicos, tampoco es capaz de identificar el “color” de los objetos con el grado de sofisticación que lo hace el ojo humano. Pero el radar puede ser diseñado para ver en condiciones

que nuestra visión presentaría extrema dificultad, como la lluvia, la niebla, neblina, nieve, oscuridad, entre otras. Quizá el atributo más importante que ofrece el radar es la capacidad que tiene para medir la distancia.

ANTECEDENTES

Para entender el origen de la tecnología completa del radar es necesario remontarse al año 1864, cuando el físico inglés James Maxwell desarrolló las ecuaciones que rigen el comportamiento de las ondas electromagnéticas. Posteriormente, en 1886, el físico alemán Heinrich Hertz pudo demostrar haciendo uso de las ecuaciones de Maxwell, las leyes de reflexión de las “ondas de radio”. Con esto logró demostrar que hay ciertas propiedades físicas de los medios que facilitan la reflexión de estas ondas. En 1903 el investigador alemán Christian Hulsmeyer fue capaz de detectar ondas de radio que reflejaba en los buques, desarrolló un equipo con la finalidad de ayudar a la navegación de los buques y así evitar colisiones. Su invento no causó un gran entusiasmo debido a que sólo lograba alcances de una milla. (SANFUENTES, J, 2000, pp. 1-2)

A través de los años hasta la actualidad, el radar se ha impulsado y se ha beneficiado del gran progreso tecnológico en materia de circuitos, procesadores digitales, amplificadores de potencia, agrupaciones de antenas de fase controlada, etc. Estos avances han permitido construir sistemas altamente complejos como los radares tridimensionales capaces de situar y seguir centenares de blancos en distancia, azimut y elevación, o los radares transhorizonte que al trabajar en HF poseen alcances del orden de 2000 km. También se han desarrollado los nuevos sistemas georadares concebidos para el sondeo geológico subterráneo o radares laser para la medida de aerosoles y contaminantes en la atmosfera. (GUTIÉRREZ, C, 2006, p.221)

Indudablemente los intereses militares y de defensa han seguido iniciando y financiando el desarrollo del radar, los avances e innovaciones se han transferido en pocos años a los ámbitos civil y comercial del radar y las telecomunicaciones.

Es muy conocida su utilización en el control del tráfico aéreo y en control policial de la velocidad en el tráfico rodado, la agricultura, geología, cartografía incluso en la meteorología permitiendo predecir el comportamiento de eventos como fuertes tormentas, tornados, granizadas, lluvias, etc. Además

existe un tipo particular de radares que son los formadores de imágenes que se utilizan en plataformas aéreas o sistemas espaciales y que permiten formar mediante un elaborado procesamiento de la señal radar, imágenes de la superficie terrestre con resoluciones del orden de hasta algunos metros. (SANFUENTES, J, 2000, p.1)

El radar se ha convertido en algo más que un detector de “manchas” o puntos en el espacio, mediante la extracción de información de los ecos o señales, para proporcionar la identificación o reconocimiento de aeronaves. El radar se ha transformado en una importante herramienta, llegando a convertirse en una rama de la electrónica de mucha relevancia. (ALDAZ, L, 2005, p.1)

En nuestro país existen un sistema radar provee el 95% de control aéreo, luego de la instalación de ocho radares que se ubican estratégicamente en distintas localidades del país. Los aviones tienen instalados un dispositivo encargado de transmitir al radar la altitud y velocidad a la que sobrevuelan, permitiendo la visualización del espacio aéreo durante todo el desarrollo de la nave desde su despegue hasta su aterrizaje, este sistema será de mucha utilidad para la Dirección General de la Aviación Civil (DAC) (DESARROLLO AMAZONICO, 2013, p.<http://www.desarrolloamazonico.gob.ec/ecuador-tiene-el-sistema-de-radares-mas-moderno-de-latinoamerica/>).

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los sistemas de comunicaciones inalámbricos de la actualidad se han hechos imprescindibles en nuestra vida cotidiana. Los mismos han crecido exponencialmente en los últimos años tanto en cantidad debido a la gran demanda por parte de los usuarios, como en la complejidad debido a los nuevos sistemas y aplicaciones. Esta misma complejidad hace que los dispositivos y equipos de radio frecuencia sean costosos, haciendo difícil el acceso a los mismos, principalmente a las empresas, universidades y laboratorios de investigación que quieran implementar nuevos sistemas de comunicaciones inalámbricas.

Los sistemas radar actualmente tienen diversas utilidades aparte de los ámbitos militares y de defensa, se ha abierto espacio en diversos aspectos civiles. Aunque existen sistemas radar de alta resolución su elevado costo torna muy dificultosa su adquisición, además la tecnología en la cual se basan no se

encuentra al alcance de todos ya que dicha tecnología es usada para fines específicos por las grandes potencias mundiales.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

Gracias al avance tecnológico en los últimos años el radar se ha convertido en una herramienta indispensable para la teledetección, en una manera muy precisa. Este tipo de sistemas de alta precisión son costosos, por lo cual en nuestro país dichos sistemas no pueden ser obtenidos con facilidad y su construcción implicaría el mismo problema.

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En la actualidad los sistemas radar se han convertido en una herramienta de mucha utilidad para la humanidad en diversos campos. Si bien en un principio nació con fines militares hoy en día se lo puede encontrar en muchos más ámbitos. Los sistemas radar han ido evolucionando a lo largo del tiempo y gracias al avance tecnológico han llegado a poseer una alta resolución de trabajo. La resolución de trabajo se refiere a la separación mínima entre dos blancos para que sean identificados como dos blancos diferentes y no como un blanco único. Sin embargo como ya se mencionó estos sistemas requieren una alta inversión económica. Es así que surge la necesidad de construir un sistema radar a un costo menor con la utilización de una tecnología más accesible.

Por este motivo se pretende implementar un sistema radar utilizando las plataformas SDR que son sistemas de radio comunicación, en el cual el hardware que se ha implementado en el equipo se configura por medio de software. Esto permite que los dispositivos sean reutilizados para distintos fines. Estas plataformas permitirán la configuración del funcionamiento interno del radar, con una buena resolución lo que sería de gran ayuda para los diferentes campos en los cuales es usado.

El presente trabajo pretende hacer uso de los sistemas SDR que son una tecnología mucho más accesible que la usada por los grandes sistemas de radar utilizados alrededor del mundo. Además se

hará uso de software que permitirán la simulación y posterior programación del sistema de radio SDR abaratando el costo del sistema radar en una forma muy considerable.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

El presente trabajo tiene como finalidad la implementación de un sistema radar a través de un sistema SDR. Esto permitirá reducir la cantidad de hardware de la que constan los grandes sistemas radares tradicionales usados alrededor del mundo ya que gracias a estos sistemas, el hardware requerido puede ser implementado en software.

El sistema radar propuesto consta de un sistema de antenas, una tarjeta USRP (Universal Software Radio Peripheral) que es una gama de radios definidos por software (SDR). El sistema de antenas permitirá la radiación hacia los relieves terrestres como montañas o edificios para reconstruir sus perfiles de forma vertical. La plataforma SDR procesara las señales reflejadas hacia las antenas y almacenara la información para su procesamiento, finalmente con la ayuda de una computadora se puede procesar la información recibida y de este modo estimar la distancia del objeto.

Por lo tanto se hace necesario hacer un estudio en el cual se dará a conocer los tipos de sistemas radar y sistemas SDR, su funcionamiento, características, configuración y todos los requerimientos necesarios para la implementación del sistema propuesto.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Diseñar e implementar un sistema radar utilizando sistema SDR a través de Tecnología USRP para aplicaciones topográficas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los requerimientos necesarios para el diseño del sistema de radar
- Diseñar el sistema radar mediante el software Matlab y/o GNU radio.
- Implementar el sistema radar usando las tarjetas USRP.
- Aplicar el sistema mediante la realización de pruebas a diferentes distancias.
- Evaluar el funcionamiento del sistema mediante el análisis de los datos recogidos a diferentes distancias.

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO

1.1. RADAR

1.1.1. Orígenes del radar.

Para comprender el origen del radar es necesario remontarse al año de 1864 cuando el físico James Maxwell desarrollo las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de las ondas electromagnéticas. Posteriormente el concepto básico de radar fue demostrado por primera vez alrededor del año 1886 cuando el científico Heinrich Hertz experimentalmente demostró las predicciones de la teoría del campo electromagnético de Maxwell, llegando a la conclusión que las ondas de radio en espacios libres se propaga a la misma velocidad que la luz.

Gracias a los experimentos realizados por Hertz se demostró que las ondas de radio podían ser reflejadas en objetos y se podían recibir de vuelta que es básicamente lo que hace un radar, el trabajo realizado por Hertz recibió un rápido y elevado reconocimiento sin embargo el no persiguió su aplicación práctica. A principios de los años 1900 ayudándose en los descubrimientos realizados por Hertz el alemán Christian Hulsmeyer continuó con las investigaciones acerca de la reflexión de las ondas de radio y construyo un instrumento mucho mejor que el aparato usado por Hertz obteniendo una patente en Inglaterra y otros países en el año de 1904.

El radar de Hulsmeyer era capaz de captar las ondas de radio reflejadas por los buques por ende el equipo tendría la finalidad de ayudar a la navegación de los buques y así evitar las colisiones de los mismos. Presento su diseño a la armada alemana y aunque obtuvo buenos resultados no hubo el suficiente interés por parte de la armada debido a que lograba un alcance de solo una milla. Años más tarde se logró transmitir y recibir en una frecuencia especifica hasta que el año de 1920 cuando el genio Marconi se interesó en él y le dio el uso de transmitir información.

Después de algunos años se realizaron algunos experimentos como los realizados por el científico Sir Robert Watson-Watt que logro llevar a cabo un contacto aéreo a 15 milla de distancia, además en

1936 los científicos del Naval Research Laboratory (NRL) Hoyt Taylor y L. Young pasaron a la historia al conseguir un alcance de 25 millas este logro sobrepasaba el horizonte visual residiendo ahí su relevancia. Este será el primer radar de onda pulsada de la historia.

El desarrollo acelerado del radar fue a final de los años 1920 y comienzo de los 1930, debido al surgimiento de los bombarderos militares. Las investigaciones fueron realizadas de forma independiente por diferentes países como Estados Unidos, Gran Bretaña, Francia, Alemania, Rusia, Italia y Japón, en respuesta a la amenaza de la aproximación cercana de los bombarderos pesados siendo los localizadores de sonido los primeros sensores examinados, los métodos de detección fueron similares no obstante los descubrimientos y adelantos estuvieron cubiertos de secretismo. En 1934 el laboratorio de investigación naval de Estados Unidos comenzó el desarrollo de un radar pulsado realizando pruebas exitosas en 1936.

Durante la Segunda Guerra Mundial era muy necesaria la detección temprana de objetos a grandes distancias por lo cual el radar fue de mucha ayuda para dicho propósito. Durante la etapa de pre-guerra, Inglaterra invirtió en un sistema radar para la vigilancia aérea denominado Chain Home que permaneció activo hasta el final de la Guerra, el sistema estuvo situado en la costa sur y este de Inglaterra, desempeñando un papel fundamental en la guerra por ser superior a los sistemas utilizados por los alemanes.

En 1940 Gran Bretaña y Estados Unidos comienzan a intercambiar información relacionada con sus avances acerca del desarrollo del radar, que hasta en ese momento trabajaba en rangos de HF Y VHF, pero debido al descubrimiento británico acerca del tubo de potencia de magnetrón de microondas y la creación del laboratorio de radiación en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en los Estados Unidos se fundamentaron las bases para el desarrollo del radar en las frecuencias de microondas que han predominado desde entonces.

Durante el transcurso de la Segunda Guerra mundial se produjeron experimentos sobre el radar llevados a cabo por los países anteriormente mencionados. La importancia del radar, la ventaja que generaba la utilización de frecuencia de microondas y formas de onda pulsada fueron reconocidas al final de la guerra.

Los descubrimientos y experimentos llevados a cabo durante la guerra permitieron el rápido crecimiento de los sistemas radar pero eso apenas era el comienzo, en los años posteriores los

esfuerzos se centraron en las cosas que quedaron incompletas durante la guerra. Desde ese momento gracias a los avances tecnológicos a lo largo del tiempo, los sistemas de radar habían continuado con su desarrollo que fue impulsado por las necesidades militares en aplicaciones como vigilancia, navegación y orientación de armas vehículos de aire, tierra y mar.

Hoy en día los sistemas radar se han ayudado de la tecnología gozando así cada vez más de una amplia gama de aplicaciones en ámbitos civiles que representan una gran ayuda a la humanidad como el control de tráfico terrestre y aéreo además de aplicaciones meteorológicas como sistemas sofisticados que se utilizan para la vigilancia a gran escala y la predicción e investigación atmosférica, entre otras aplicaciones existentes.

1.1.2. Definición de radar

RADAR proviene de la contracción de Radio Detection And Ranging en inglés, es un sistema electrónico basado en la transmisión y recepción de una onda electromagnética, esto permite determinar la posición con respecto al transmisor a la que se encuentra un objeto, a través de los ecos producidos por dichos objetos en respuesta a la emisión de las ondas electromagnéticas.

Gracias al uso de ondas electromagnéticas en el rango de las microondas, el radar permite detectar objetos más allá del rango de la visión humana, así como del rango que alcanzan las emisiones de la luz visible, el sonido entre otras. Si definimos el radar de acuerdo a su funcionamiento se podría decir que su objetivo principal es la detección de objetos a cierta distancia gracias a la emisión de ondas de radio que son reflejadas por el objeto hacia la misma posición del emisor.

Describiendo el término RADAR de una forma más amplia se podría decir que RADIO define el uso de ondas electromagnéticas. DETECTION hace referencia a la detección y RANGING la capacidad para facilitar una ubicación en dirección y distancia.

1.1.3. Funcionamiento del Radar

El funcionamiento del radar se basa en la emisión de una onda electromagnética generada por un transmisor e irradiada por una antena. Una porción de la señal transmitida puede ser interceptada por un objeto provocando que dicha señal se refleje en todas direcciones. La señal reflejada hacia la

posición del transmisor es captada por la antena la cual es usada como receptora, como se muestra en la Figura 1-1.

La distancia del radar se puede determinar mediante la Ecuación 1-1

$$R = \frac{CT_R}{2} \quad \text{Ecuación 1-1.}$$

De donde:

R: Representa la distancia del blanco

C: La velocidad de la luz $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$

T_R: Tiempo en segundos que le toma a la onda en ir y regresar.

$\frac{1}{2}$: Este factor se debe a que la distancia es recorrida dos veces.

La señal receptada es procesada y a partir de ella se obtiene la posición y velocidad del objeto. La distancia del objeto se puede determinar a partir del tiempo que tarda la señal emitida por el radar en ir hacia el objeto y regresar hacia el radar.

Los componentes de un radar básico son: transmisor, receptor, procesador y presentador. Todo inicia cuando el transmisor a través de la antena transmisora irradia la señal electromagnética hacia el espacio con la potencia adecuada, la onda electromagnética viaja a la velocidad de la luz por lo cual la respuesta es inmediata. Después de un tiempo determinado la antena cesa la transmisión y mediante un switch pasa a modo de recepción, siempre que el sistema haga uso de una sola antena tanto para transmisión como recepción, si la transmisión y recepción consta de antenas independientes el switch es completamente innecesario. La información captada por el receptor pasa a un procesador, finalmente dicha información es extraída y presentada de forma adecuada.

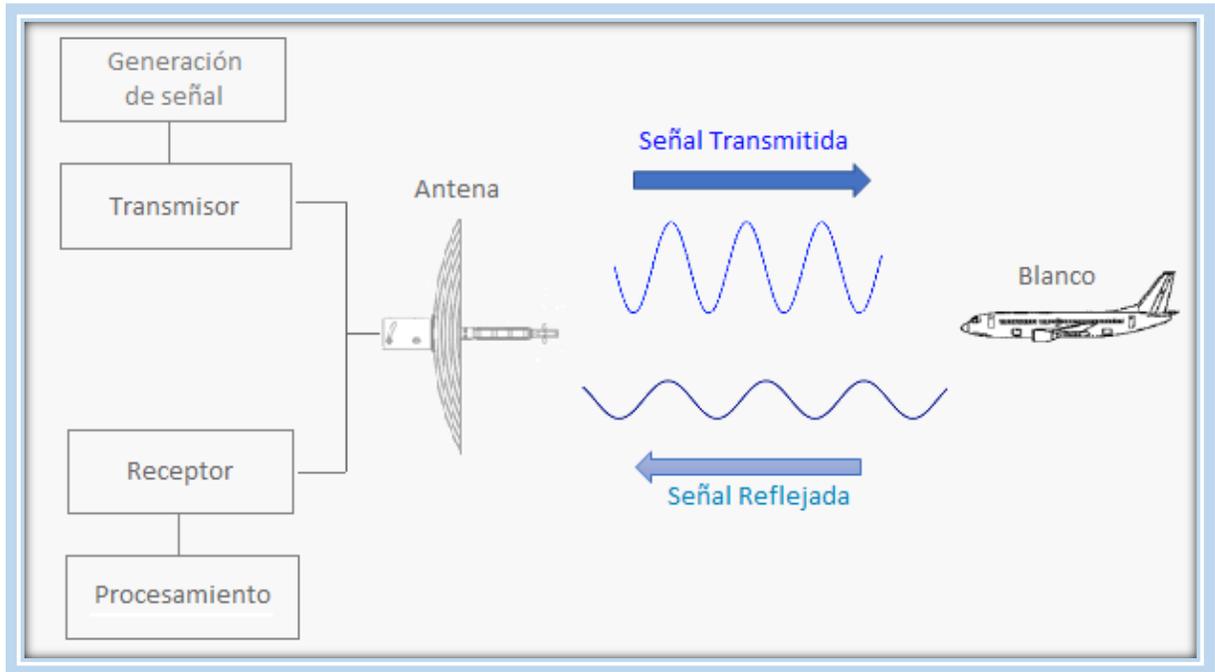


Figura 1-1 Funcionamiento básico de un Radar

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

1.1.4. Clasificación de los radares.

Para clasificar los radares se pueden tomar en cuenta algunos aspectos relacionados con sus características particulares tales como: el número de antenas, el objetivo que se desea detectar, el grado de resolución, el propósito de construcción del radar. También se puede tomar en cuenta la forma de onda con la que trabaja el radar.

1.1.4.1. Según el número de antenas.

- **Monoestático:** Tanto el transmisor como el receptor se ubica en una misma posición de forma estática, además comparten la misma antena que hace a su vez de transmisora y receptora como muestra la Figura 2-1.

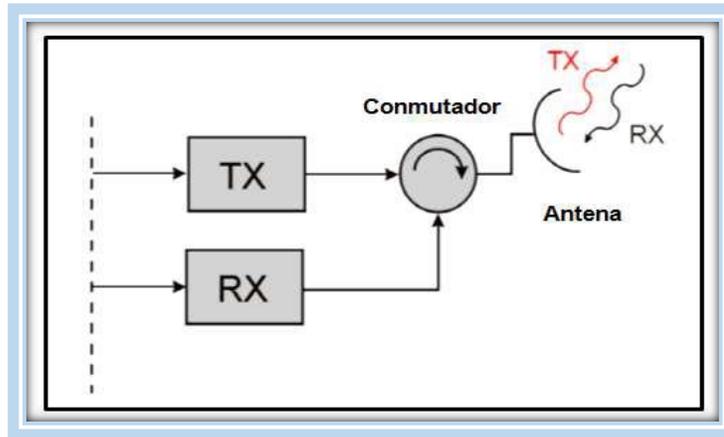


Figura 2-1: Radar monoestático
Fuente: LARA, R, 2013

- **Biestático:** El transmisor y receptor se encuentran separados a cierta distancia y cuentan con sus antenas en forma independiente. Es decir una antena para transmisión y otra para recepción, la posición del sistema es estática. En la Figura 3-1 se puede apreciar este tipo de radar

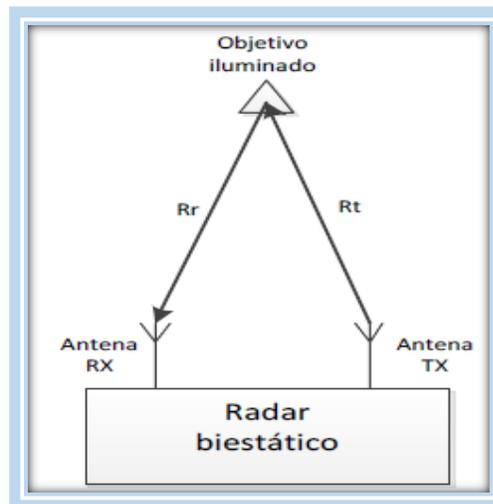


Figura 3-1: Radar biestático
Fuente: VARGAS, D, 2014

- **Multiestático:** El transmisor y el receptor se encuentran separados por una cierta distancia entre sí. Este sistema consta de antena una para la transmisión y varias para recepción por lo cual es capaz de captar las señales reflejadas por el blanco en distintos ángulos lo que podría representar una identificación más eficaz. Como se observa en la Figura 4-1.

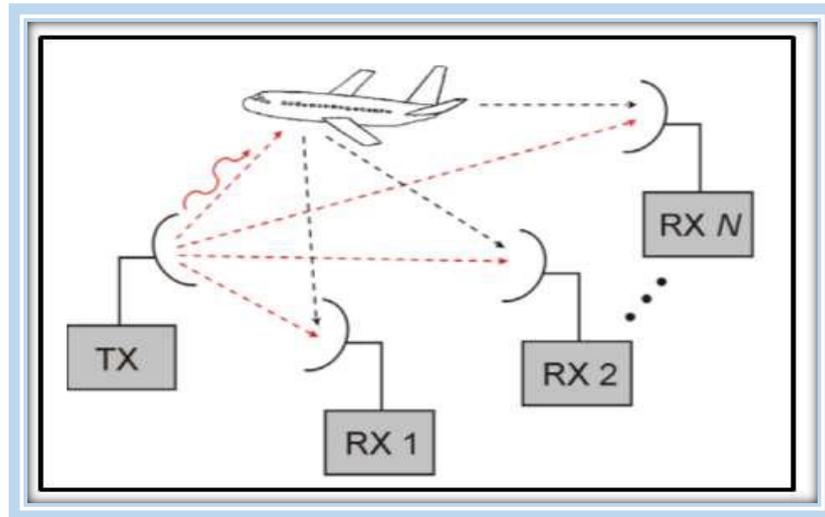


Figura 4-1: Radar multiestático
Fuente: LARA, R, 2013

1.1.4.2. Según el Blanco.

- **Radar Primario PSR (Primary Surveillance Radar):** Este tipo de radar irradia ondas electromagnéticas durante cortos lapsos de tiempo, parte de la señal transmitida es devuelta al radar al reflejarse en un objeto y se determina la distancia del mismo mediante el análisis de tiempo que tardo la señal en ir y volver. La información que recolecta el radar obedece a las características del objeto, el blanco es un elemento pasivo que al recibir la señal proveniente del radar simplemente la refleja.

- **Radar Secundario de Vigilancia SSR (Secondary Surveillance Radar):** Este sistema radar transmite señales de forma codificada que interroga al blanco. El blanco posee un dispositivo denominado transponder lo que le permite responder a las señales enviadas por el radar y proporciona su información en una señal codificada. Se puede obtener información como altitud, distancia en vehículos militares se puede saber si se trata de un amigo o enemigo entre otros. Estos radares generalmente son usados para la aviación.

Los radares primarios obtienen la información gracias a la señal reflejada por el blanco mientras que los radares secundarios no dependen de la señal reflejada, reciben la información directamente del blanco.

1.1.4.3. Según su finalidad.

- **Radar de Seguimiento:** Son capaces de seguir el movimiento de un blanco. Por ejemplo los radares para seguimiento de misiles. La Figura 5-1 muestra un radar de seguimiento.

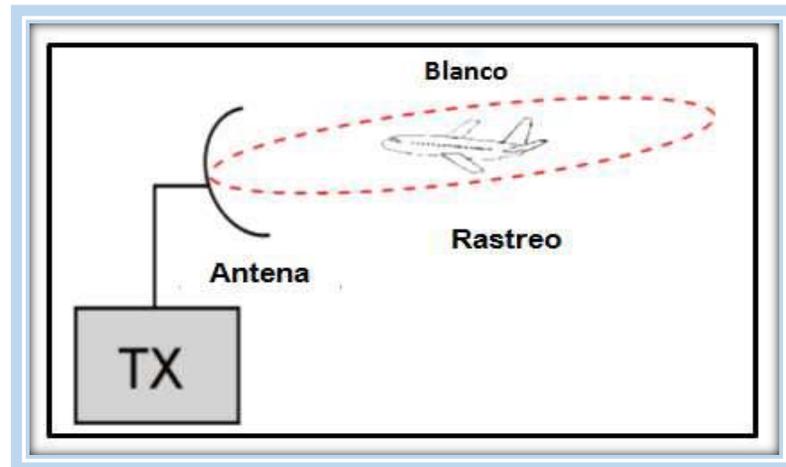


Figura 5-1: Radar de seguimiento
Fuente: LARA, R, 2013

- **Radar de vigilancia o exploración (scannig radar):** Este tipo de radar explora todo el espacio o una porción de él para identificar un blanco o alguna característica del mismo, siempre y cuando se encuentre en su rango de alcance. Como muestra la Figura 6-1.

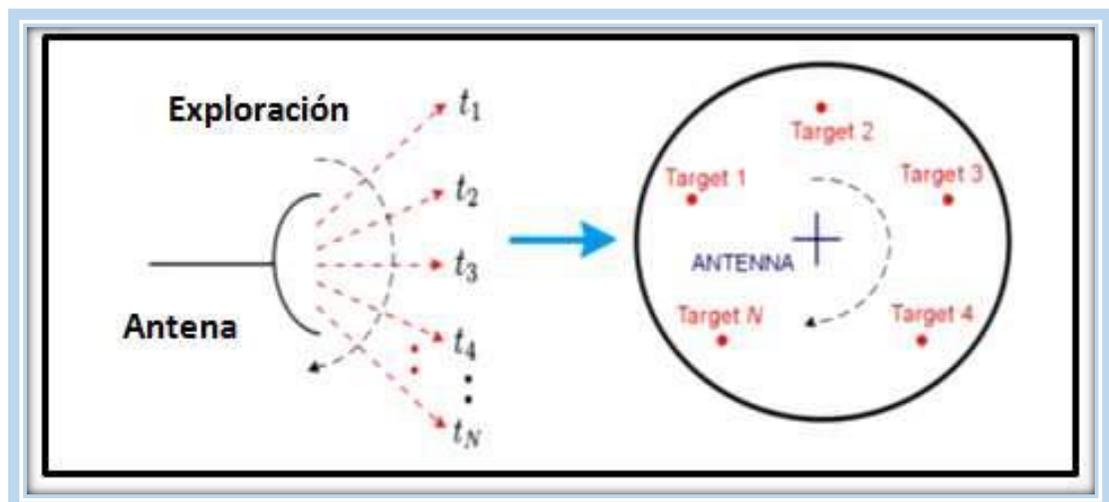


Figura 6-1: Radar de vigilancia
Fuente: LARA, R, 2013

1.1.4.4. Por su forma de onda.

- **Radar de onda pulsada:** Es el funcionamiento más tradicional se transmiten pulsos durante periodos de tiempo determinados la información recabada se obtiene a partir del tiempo que la señal del radar llega al blanco y regresa al radar y la velocidad con la que se transmitió el pulso. Este pulso puede estar modulado o no.

- **Radar de onda continua:** Transmite la señal de forma ininterrumpida, normalmente esta señal se encuentra modulada para poder determinar cuándo se transmitió. Cuando se transmite la señal modulada se puede determinar la distancia, mientras que si se transmite solo la portadora se obtiene información acerca de la velocidad. Entre los radares de onda continua se pueden destacar los siguientes.
 - ✓ El Radar Doppler: Realiza medidas precisas de la velocidad de un objeto. Este tipo de radar transmite una onda continua de frecuencia fija. Cuando esta señal encuentra un objeto en movimiento la frecuencia de la onda reflejada cambia con respecto a la transmitida. Utilizando esta variación de frecuencia el radar determina la velocidad del objetivo.

 - ✓ Los Radares FM: Emiten señales continuas pero en este caso moduladas en frecuencia. A diferencia del radar doppler, estas variaciones en frecuencia de la señal transmitida permiten no sólo conocer la velocidad del objetivo sino también su posición.

1.1.5. Frecuencias de radar.

La frecuencia de funcionamiento del radar se elige considerando algunos factores comerciales tales como: resolución espacial, propagación, materiales de penetración, interferencias electromagnéticas, interferencias de radiofrecuencia y limitaciones de ancho de banda. Las frecuencias de operación de los Radares son desde 220MHz a 35GHz, aunque debido a su aplicación la frecuencia puede variar en los 2MHz en radares de tierra de alta frecuencia o en radares milimétricos en los cuales trabajan en frecuencias mayores a 94GHz. Las bandas de operación de los sistemas radar se pueden ubicar dentro del espectro electromagnético.

El Espectro Electromagnético es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas, se extiende desde las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como las ondas de radio, hasta los de menor longitud de onda, como los rayos gamma. Entre estos dos límites están: las ondas de radio, las microondas, los infrarrojos, la luz visible, la luz ultravioleta y los rayos X. En la Figura 7-1 se muestra el espectro electromagnético.

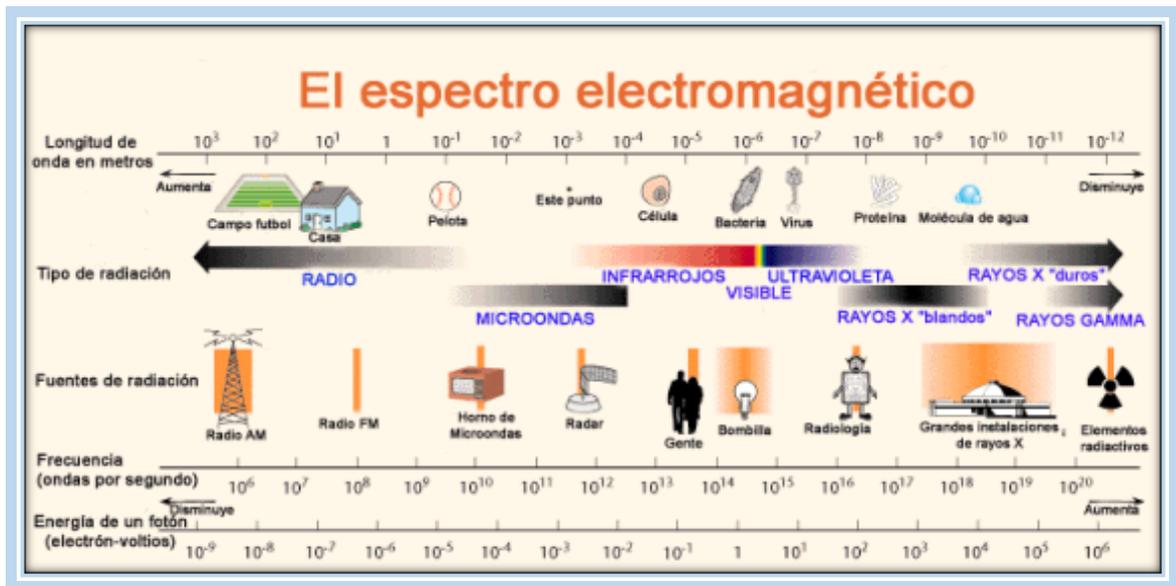


Figura 7-1: Espectro electromagnético

Fuente: https://wikiuniversal.files.wordpress.com/2008/01/espectro_total.gif

Las bandas del espectro electromagnético usadas por los radares fueron asignadas a letras por medio del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) para que el RADAR pueda operar de manera estándar. Esta asignación se muestra en la Figura 8-1.

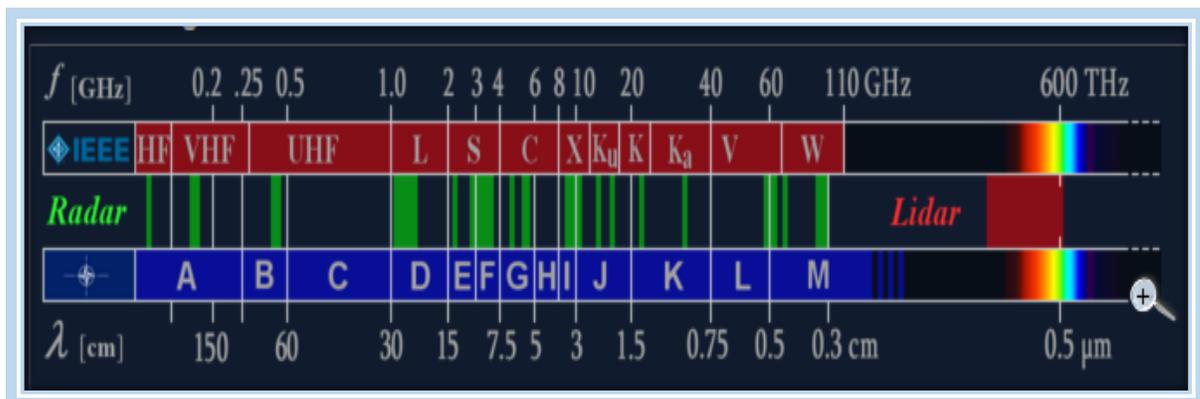


Figura 8-1: Bandas de frecuencias usadas por los radares

Fuente: <http://www.radartutorial.eu/07.waves/pic/radarfrequencies.print.png>

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

Los radares pueden variar su frecuencia de operación dependiendo de sus aplicaciones. Al emplear frecuencias altas se mejora la resolución y la exactitud, se reduce el tamaño de las antenas. Por otro lado el uso de frecuencias bajas permite extender el alcance de localización.

1.1.6. Radar FM-CW

La principal diferencia de estos sistemas con respecto a los tradicionales sistemas CW (Onda continua), radica en que los radares FM-CW tienen la capacidad de variar su frecuencia de trabajo durante la medida, lo que implica que la señal que transmiten estos radares se encuentra modulada en frecuencia.

Gracias a la modulación en frecuencia se obtiene la capacidad de medir distancias, ya que dicha modulación proporciona una referencia temporal. Si además, la frecuencia de modulación es lineal, también se la conoce como chirp, el proceso de análisis de las señales de eco se simplifica considerablemente

Las formas de onda moduladas en frecuencia o en fase son usadas en los radares de onda continua (CW), con el fin de lograr anchos de bandas mucho más amplios o también para aumentar la precisión en la detección de blancos.

1.1.6.1. Señal Chirp

Se refiere a la señal que varía su frecuencia a lo largo de su periodo. La frecuencia de estas señales puede cambiar de una frecuencia alta a otra más baja, cuando este ocurre se la conoce como down-chirp ver Figura 9-1, mientras que por el contrario si la frecuencia varía de una baja a otra frecuencia más alta se la denomina up-chirp ver Figura (10-1), también se puede generar una señal denominada triangular que se puede considerar como la combinación de las dos anteriores como se muestra en la Figura (11-1).

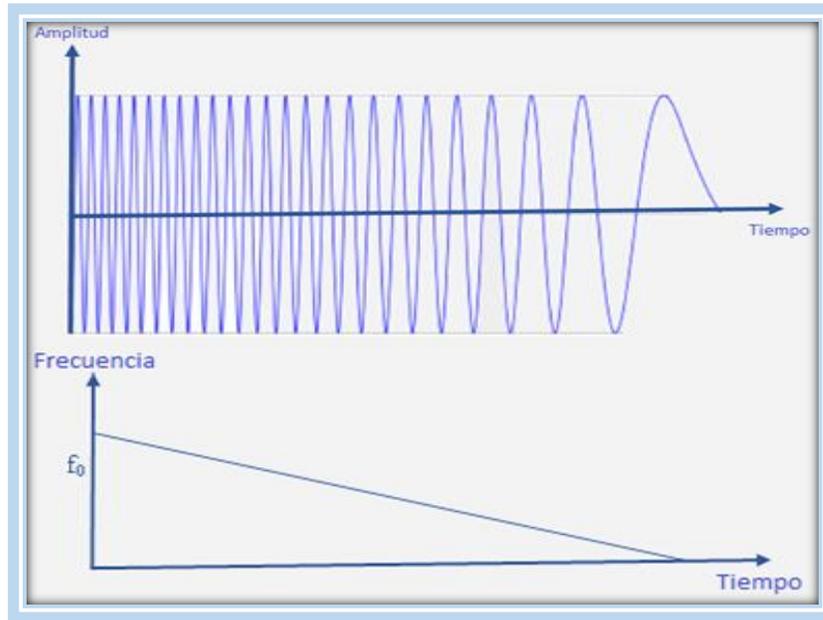


Figura 9-1: Forma de onda down-chirp
 Realizado por: Merchán, C, 2016

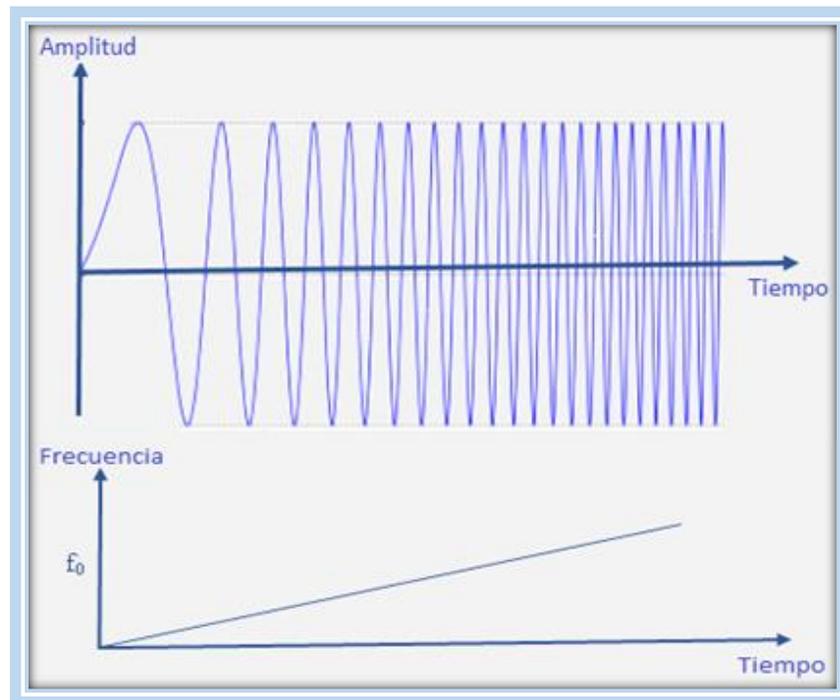


Figura 10-1: Forma de onda up-chirp
 Realizado por: Merchán, C, 2016

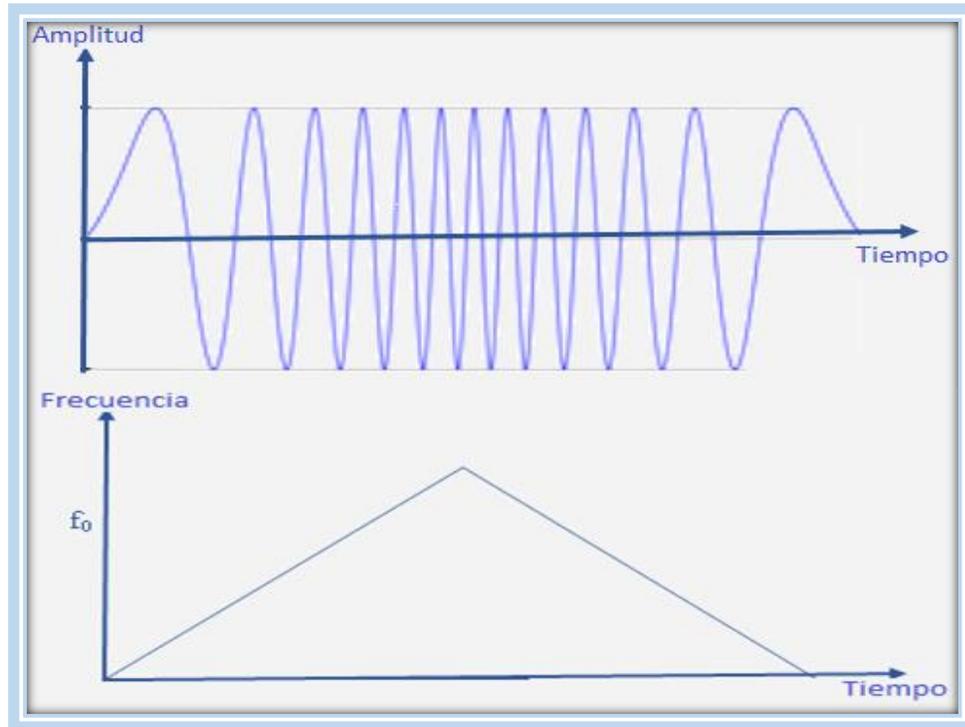


Figura 11-1: Forma de onda triangular
 Realizado por: Merchán, C, 2016

1.1.7. Análisis del sistema Radar.

Para el desarrollo de un sistema radar se pueden tomar en cuenta algunos parámetros como los que se describen a continuación.

1.1.7.1. Resolución del Sistema

Es la mínima distancia entre dos blancos de similares características que el sistema de radar es capaz de determinar. Para obtener la resolución se toma en cuenta parámetros como el ancho de banda (B), exactitud de la distancia (e_d), la velocidad de la luz (c), frecuencia máxima (f_{\max}) y de muestreo (f_s) como se muestra en la Ecuación. 2-1 y Ecuación. 3-1. (BARBERAN, J y DOMÍNGUEZ, R, 2016, p: 35)

$$f_s = 2 * f_{\max} = B \quad \text{Ecuación. 2-1}$$

Resolución del sistema

$$\Delta R = e_d = \frac{c}{B} = \frac{c}{2 * f_{max}} \quad \text{Ecuación. 3-1}$$

1.1.7.2. Distancia Máxima de Análisis de Señal

La máxima distancia que la señal recibida del sistema radar es analizada depende del tiempo final como se muestra en la Ecuación. 4-1 (ver Figura 12-1.) (BARBERAN, J y DOMÍNGUEZ, R, 2016, p: 35)

$$d_{maxteorica} = \frac{c * t_f}{2} \quad \text{Ecuación. 4-1}$$

Aunque en objetivos prácticos esta distancia máxima es reducida a la mitad (Ecuación. 5-1).

$$d_{maxpractica} = \frac{c * t_f}{4} \quad \text{Ecuación. 5-1}$$

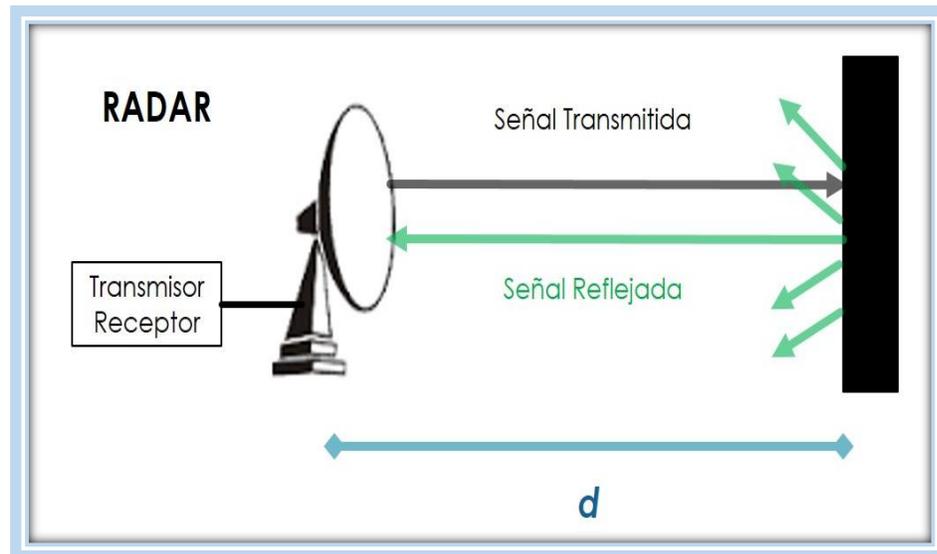


Figura 12-1. Señal Transmitida – Reflejada
Fuente: BARBERAN., J y DOMÍNGUEZ, R, 2016

1.1.7.3. Detección del Objeto

La detección del objeto se genera desde la señal transmitida la misma que es modulada partiendo de una función coseno la cual es procesada a través de ecuaciones. Dicha onda está en función del vector de tiempo y de la frecuencia de muestreo, donde la velocidad de propagación (V_o) es la velocidad de la luz (c), siendo f la frecuencia de la señal transmitida, t el tiempo y φ_0 es el ángulo de desfase (ver Ecuación. 6–1). (BARBERAN, J y DOMÍNGUEZ, R, 2016, p 36).

$$V(t) = V_o \cos(2\pi f t + \varphi_0) \quad \text{Ecuación. 6-1}$$

La onda transmitida al ser reflejada por el objeto genera un retardo de tiempo y un desfase, donde el retardo es generado durante el tiempo de ida y de regreso de la onda (ver Ecuación. 7–1). (BARBERAN, J y DOMÍNGUEZ, R, 2016, p. 36)

$$V_r(t) = V_o K \cos(2\pi f(t - 2t_r) + \varphi_0) \mu(t - 2t_r) \quad \text{Ecuación. 7-1}$$

La multiplicación de las dos señales muestra si existe algún objeto detectado, para esto es necesario de la utilización de la Transformada Rápida de Fourier, la misma que permite pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Los picos representan la detección de un objeto como se muestra en la Figura 13-1. (BARBERAN, J y DOMÍNGUEZ, R, 2016, p. 36)

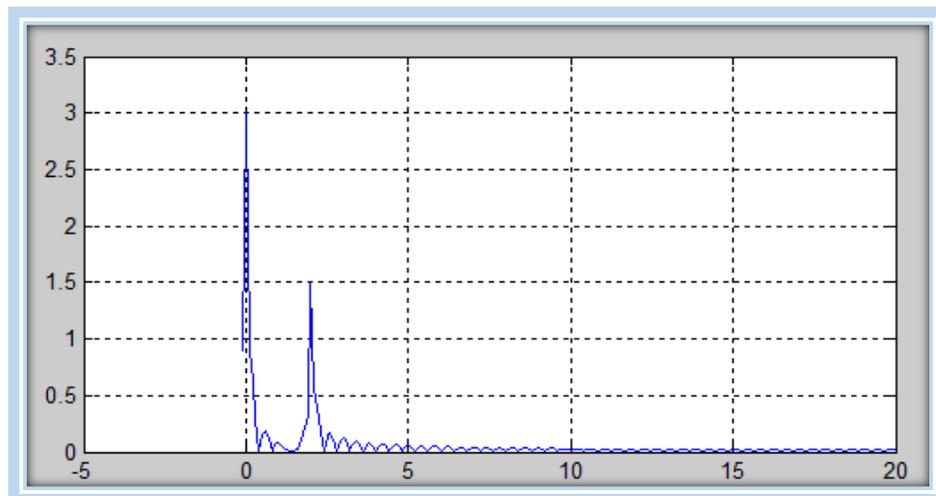


Figura 13-1. Transformada Rápida De Fourier
Fuente: ÁLVAREZ, René & SHAGÑAY, Sandra. 2015. p. 32

1.1.7.4. Distancia del Objeto Detectado

Para obtener la distancia a la que se encuentra el objeto se analiza la señal Chirp la cual cambia de frecuencia desde una baja a una alta o viceversa en un mismo periodo de tiempo determinado. La señal Chirp Transmitida está dada por una amplitud K , frecuencia angular ω_o y fase constante ϕ_o , donde $f(t)$ es la función de la frecuencia que cambia en el tiempo como se muestra en la Ecuación. 8-1. (BARBERAN, J y DOMÍNGUEZ, R, 2016, p. 37)

$$V(t) = V_o \cos(2\pi f(t)t + \phi_o) \quad \text{Ecuación. 8-1}$$

La frecuencia variante en el tiempo $f(t)$ depende de la rapidez con que cambia la frecuencia k , donde se toma en cuenta la frecuencia de inicio de la onda f_o y la frecuencia final f_1 en una duración T (ver Ecuación. 9-1 y Ecuación. 10-1). (BARBERAN, J y DOMÍNGUEZ, R, 2016, p. 37)

$$f(t) = \frac{k}{2}t + f_o \quad \text{Ecuación. 9-1}$$

$$k = \frac{(f_1 - f_o)}{T} \quad \text{Ecuación. 10-1}$$

Existe un retardo en el tiempo entre la señal Chirp Recibida y la Transmitida, dicha señal depende del retardo de tiempo y un desfase como se observa en la Ecuación. 11-1. (BARBERAN, J y DOMÍNGUEZ, R, 2016, p. 37)

$$V_r(t) = V_o K \cos\left(2\pi\left(\frac{k}{t}(t - 2t_r) + f_o\right)(t - 2t_r) + \phi_o\right) \mu(t - 2t_r) \quad \text{Ecuación. 11-1}$$

La multiplicación de las dos señales chirp permite mostrar la posición del objeto detectado (ver **Ecuación. 12-1**), para esto es necesario de la utilización de la Transformada Rápida de Fourier, la misma que permite pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. (BARBERAN, J y DOMÍNGUEZ, R, 2016, p. 36)

$$V_f(t) = V_o \cos\left(2\pi f(t)t + \phi_o\right) \cdot V_o K \cos\left(2\pi\left(\frac{k}{2}(t - 2t_r) + f_o\right)(t - 2t_r) + \phi_o\right) \mu(t - 2t_r)$$

Ecuación. 12-1

Al resolver la multiplicación se obtiene el siguiente resultado:

$$\cos[2\pi kt_r(t - (t_r - f_o))]$$

Ecuación. 13-1

Si se aplica la Transformada Rápida de Fourier y tomando en cuenta la ecuación 13-1 e obtiene los resultados mostrados en la Figura 14-1.

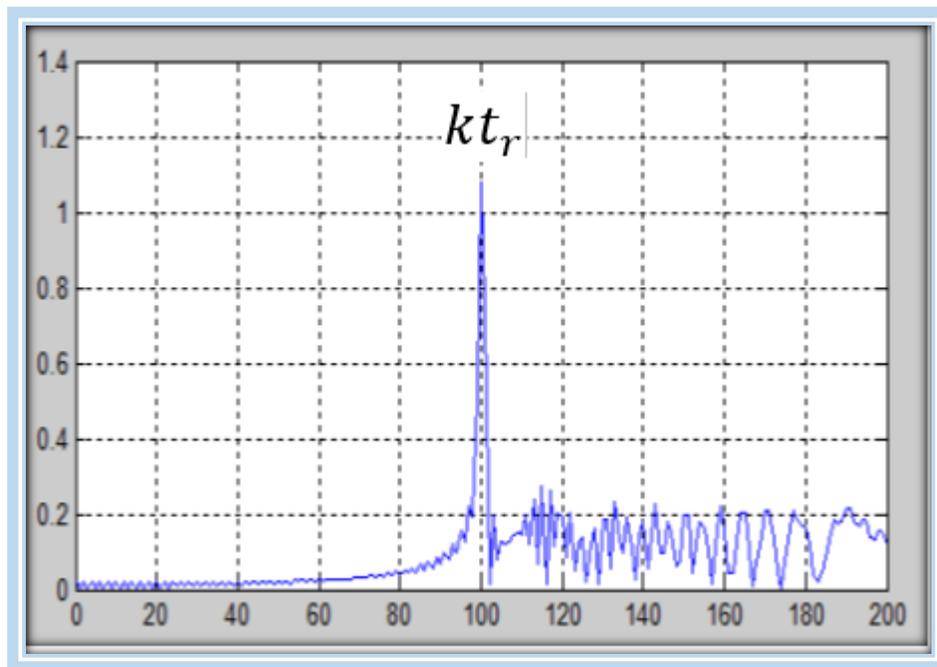


Figura 14-1. Transformada Rápida de Fourier de la multiplicación

Realizado por: MERCHAN, C, 2016

Ahora t_r se puede expresar como $t_r = \frac{2d}{c}$ por lo cual a partir de la gráfica de la FFT se puede estimar la distancia a la que se encuentra el objeto

1.2. PERFILES TOPOGRAFICOS

1.2.1. Definición.

Un perfil Topográfico se refiere a la representación gráfica lineal del relieve del terreno resultado de cortarlo por un plano vertical u horizontal. Permite establecer diferencias de altitud presentes a lo largo de un recorrido en el relieve del terreno. En la Figura 15-1 se puede apreciar un perfil topográfico

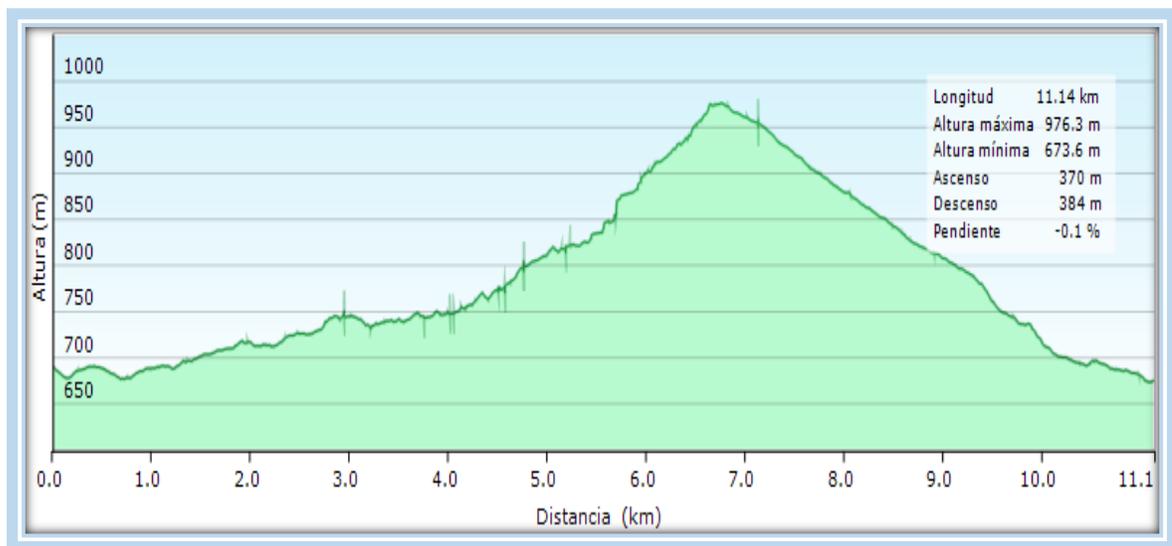


Figura 15-1: Perfil topográfico

Fuente: <https://1.bp.blogspot.com/-oy9u7Oln4U/Uoe2pVUNYJI/AAAAAAAAAF1g/IeVCyE6AfWk/s1600/perfil.png>

1.2.2. Tipos de perfiles topográficos.

1.2.2.1. Perfiles Longitudinales.

Se conocen como perfiles longitudinales a la intersección de la superficie del terreno con un plano vertical. Para representarlos se puede utilizar los ejes cartesianos X y Y. Donde el eje X indica la distancia desde el origen y el eje Y la altitud. La escala de los ejes no es necesariamente la misma pueden variar, por lo general se tiende a aumentar los valores en el eje Y, llegando a ser hasta unas diez veces la del eje X.

1.2.2.2. Perfiles Transversales

Un perfil transversal es la intersección del terreno con un plano perpendicular al eje longitudinal. De la misma manera que los perfiles longitudinales se los puede representar en los ejes cartesianos X y Y. En el eje de las X se representan las distancias con valores tanto positivos como negativos. Mientras que en el eje de las Y se ubican las altitudes. Estos perfiles se dibujan usando la misma escala tanto para el eje X como para el Eje Y.

1.2.3. Escalas.

La escala representa la relación que existe entre las dimensiones de la representación gráfica y las dimensiones reales que corresponden al terreno. La escala se la representa en forma de razón, donde el numerador indica la dimensión del objeto en el plano, por otro lado el denominador representará la dimensión que tiene ese mismo objeto en el terreno. De tal modo que una escala 1:10 significará que un centímetro en el plano, representará 10 centímetros en la realidad.

Por lo tanto, para pasar de la distancia en el plano, a la distancia real, basta con multiplicar por la escala, y para la operación contraria, se deberá dividir por la escala empleada. La Figura 16-1 muestra un ejemplo de escala usada para representar una imagen.



Figura 16-1: Representación de una imagen a escala.

Fuente: http://1.bp.blogspot.com/-VJv9m28-aG4/UOb_WswfT_I/AAAAAAAAAdg/CjIhozXQzjU/s1600/ESCALA.png

1.3. Técnicas Radar para Reconstrucción de Perfiles Topográficos.

Una tecnología para reconstruir perfiles topográficos es a través de un láser infrarrojo que realiza un escaneo de objetos para poder registrar datos precisos para un posteriormente dibujar el perfil. Este laser está representado por un cuadro de puntos que puede capturar la forma del objeto, en el cual se precisa una técnica que permita la reconstrucción de los perfiles.

A continuación se describen otras técnicas radar para reconstrucción de perfiles topográficos.

➤ Escáner Laser Aerotransportados (ALS)

Técnica que permite obtener Modelos Digitales de Terreno consiste básicamente en un sensor laser que se instala sobre plataformas móviles como un avión o helicóptero realiza un barrido de una superficie utilizando procedimientos fotográficos. El láser tiene la capacidad de atravesar obstáculos, permitiendo la obtención de dos modelos digitales diferentes del terreno. El DTM (Digital Terrain Model) que se refiere al terreno sin ningún tipo de obstáculo y el DSM (Digital Surface Model) que

hace referencia al modelo digital de la superficie, incluidos todos los obstáculos que se encuentre, como se aprecia en la Figura 17-1.

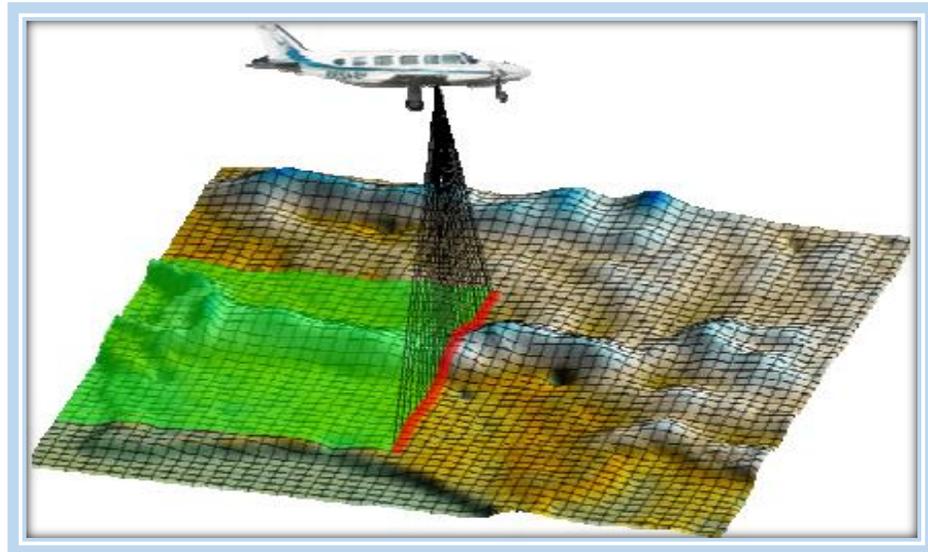


Figura 17-1: Escáner Láser Aerotransportado
Fuente: IBÁÑEZ, E, 2007, p. 7.

➤ Radar de Penetración Terrestre (GPR)

Se trata de una técnica no destructiva del subsuelo, emplea un georadar que permite hacer el sondeo de profundidad, posee un buen alcance llegando incluso a los cientos de metros por debajo del suelo. El georadar emplea ondas electromagnéticas de frecuencias entre 100 y 1 GHz se usa para revelar fallas geológicas tectónicas del terreno, esta técnica se puede apreciar en la Figura 18-1.



Figura 18-1: Radar de Penetración Terrestre

Fuente: <http://www.vioireso.fr/detection-de-reseaux-entrees/detection-des-reseaux-d-assainissement/>

➤ GeoSAR

Se trata de un sistema que mapea superficies de terrenos a nivel mundial, utiliza una tecnología radar de apertura sintética que permite la obtención de imágenes de alta resolución y datos de terrenos de áreas extremadamente inaccesibles permitiendo la generación de mapas topográficos. El GeoSAR opera a altas velocidades y altitudes de recogida de datos de radar de banda dual de cada lado de la aeronave en un solo paso, esta técnica se aprecia en la Figura 19-1.

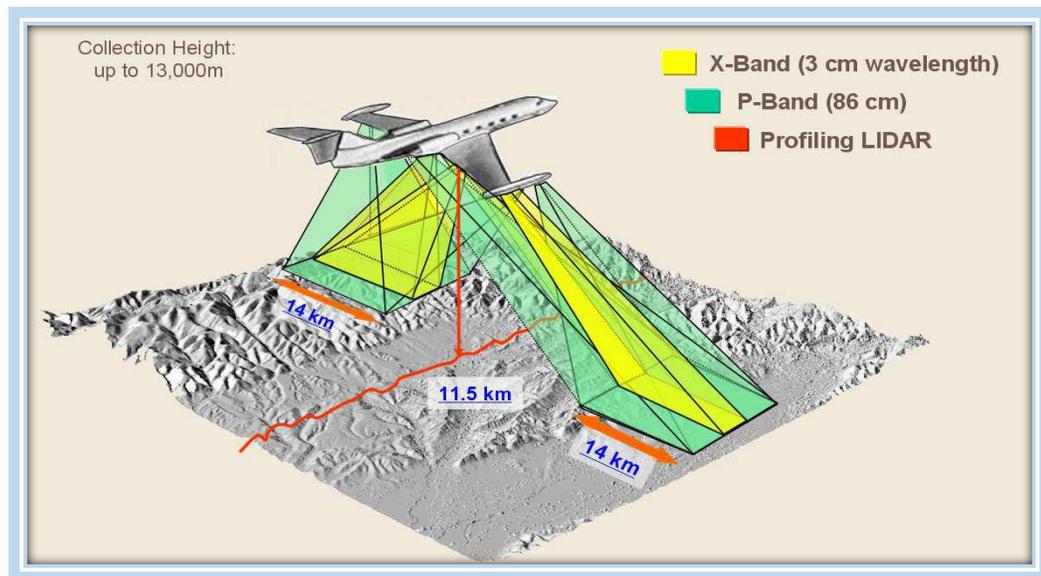


Figura 19-1: Funcionamiento de GeoSAR

Fuente: KAMPES, B, 2011, p. 3

1.4. SISTEMA SDR

1.4.1. Origen

De la misma forma que la mayoría de los sistemas de comunicaciones el origen de la tecnología Software Radio está relacionado al ámbito militar, donde los nuevos equipos de radio debían trabajar en conjunto con los equipos antiguos. También existían casos en los que se realizaban operaciones conjuntas entre aliados, los cuales poseían equipos de comunicaciones incompatibles.

A finales de los años 70's, la Fuerza Aérea Norteamericana trabajó en un sistema conocido como Integrated Communications Navigation, Identification and Avionics system (ICNIA). Dicho sistema

utilizaba un procesador digital de señales (DSP) en el que se realizaban funciones tanto de programación como de control para obtener una plataforma integrada para comunicaciones aéreas.

Este proyecto finalmente fue llamado SPEAKeasy, cuyo objetivo era implementar más de 10 tipos de tecnologías de comunicaciones inalámbricas en un equipo programable, operando en la banda de frecuencias de 2MHz a 2GHz y de esta forma reemplazar los sistemas de radio que poseían terminando finalmente con los problemas de interoperabilidad.

Adicionalmente se esperaba que el prototipo debía tuviera la posibilidad de actualizar su código para evitar problemas de funcionamiento con los estándares futuros. En 1995 se logró alcanzar todos los objetivos deseados, sin embargo solo se podía realizar una comunicación a la vez. Por lo cual el prototipo fue modificado apareciendo así una segunda etapa.

En su segunda etapa SpeakEasy II mejora las prestaciones del proyecto inicial emulando un radio completo y aumentando el rango de frecuencias a 45.5Ghz e incluyendo 22 formas de onda programables a una tasa de transferencia de hasta 10 Mbps. Además se trabajaron en aspectos como disminución de peso y costo, incremento en su capacidad de procesamiento y diseño basado en arquitecturas de software libre. Los resultados permitieron al dispositivo funcionar en un rango de 4 MHz a 400 MHz.

Desde entonces, se han diseñado diferentes dispositivos SDR que han marcado un importante avance en este campo dentro y fuera del ámbito militar. Entre estos, el equipo Universal Software Radio Peripheral (USRP) del fabricante Ettus Research ha contribuido especialmente a acercar al usuario esta tecnología.

1.4.2. Definición.

SDR o Radio Definido por Software sus siglas provienen de la definición en inglés, Software Defined Radio.

El término “Software Defined radio” fue acuñado por Joseph Mitola en 1991 para hacer referencia a un nuevo tipo de equipos de radio reprogramables o reconfigurables. Esto quiere decir que una misma pieza de hardware puede realizar diferentes funciones en distintos instantes de tiempo con sólo introducir algún cambio en su configuración mediante software (García, D y Riera, J, 2012, p. 1)

El concepto de SDR surgió para ofrecer un mejor control al software de un sistema de comunicación que a su contraparte de hardware. Los sistemas SDR combinan tanto tecnologías de Software como de Hardware y de Radiofrecuencia (RF), gracias a la integración se puedan transmitir, recibir y procesar señales de radio con mayor flexibilidad y eficiencia, comparado con un sistema enfocado solamente en la parte de hardware. Un sistema SDR intenta que la mayor parte de los componentes del sistema se lo implemente en software y de esta forma gracias a un dispositivo reprogramable, estos componentes pueden ser reconfigurados con facilidad cuando sea necesario, y los problemas que anteriormente se relacionaban a la parte de hardware, sean ahora problemas de software es decir de código o programación.

Según la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) radio definido por software es “Radio en el que algunas o todas de sus funciones a nivel físico, son definidos por software.”

1.4.3. Estructura SDR

Aunque el concepto de SDR ha ido evolucionando con los años se siguen basando en un esquema básico que se compone de tres bloques funcionales: sección de RF, sección de IF y sección Banda Base. De donde la parte de RF e IF se implementan en hardware mientras que la sección de Banda Base en software como se muestra en la Figura 20-1.

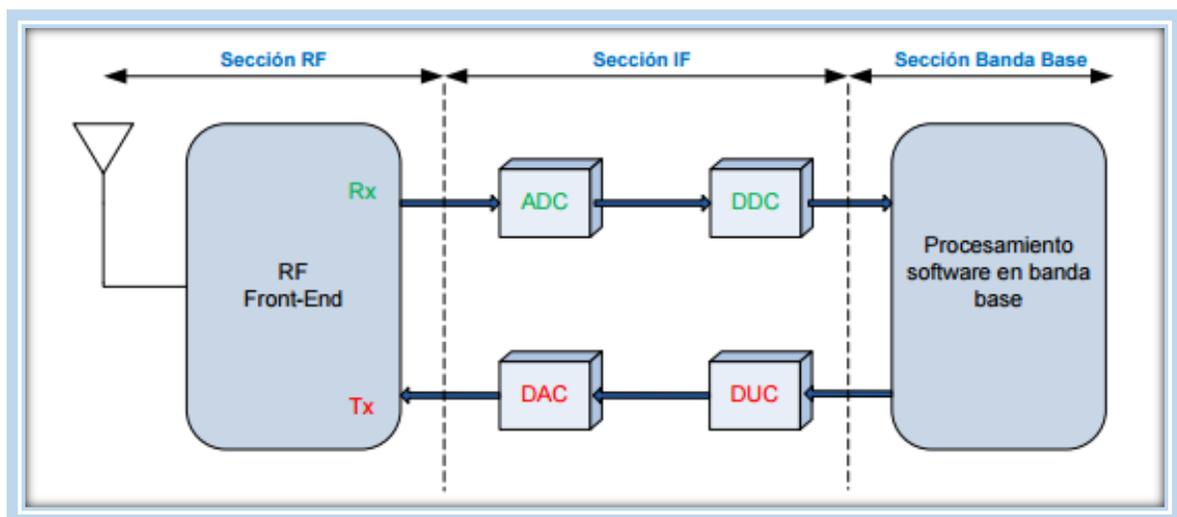


Figura 20-1: Diagrama de bloques funcionales de SDR
Fuente: Pinar, I y Murillo, J, 2011

La sección de RF también llamada RF Front-End es la responsable de transmitir/recibir las señales de radio frecuencia para adecuarlas y convertirlas en frecuencias intermedias en el caso de la recepción o amplificar y modular las señales de IF adecuándolas para la transmisión en el aire en el caso de la transmisión.

La sección de IF es la encargada de pasar la señal de IF a banda base y digitalizarla en el caso de la recepción o pasar la señal de banda base a IF y hacer la conversión digital analógica de la señal en el caso de la transmisión. Las encargadas de la conversión analógica-digital o digital-analógica de la señal son los módulos ADC/DAC. (Pinar,I y Murillo,J,2011: p. 13). Los módulos DDC/DUC son los encargados de bajar digitalmente la señal de IF a Banda Base o subir de banda base a IF respectivamente.

La sección de Banda Base es la encargada de todo el procesamiento en banda base de la señal como frequency hopping, establecimiento de sesión, ecualización, manejo de tiempos de bit, entre otros y en algunos casos de la implementación de protocolos del nivel de enlace del modelo OSI. (Pinar, I y Murillo, J, 2011: p. 13).

1.4.4. Características Técnicas.

En una forma general un SDR está compuesto por dos grupos, el primero se refiere a una sección analógica y el segundo a una sección digital.

La Figura 21-1 muestra la composición general de un sistema SDR.

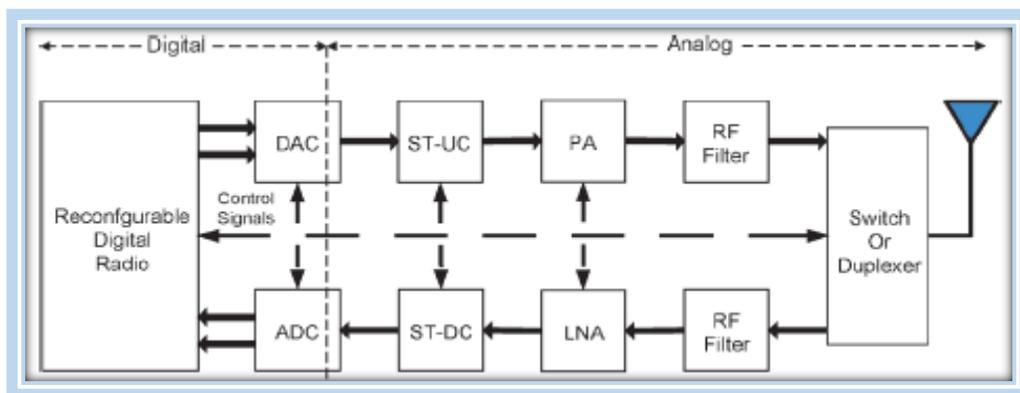


Figura 21-1: Composición de un sistema SDR

Fuente: Angulo, H y Paredes, Darwin, 2011.

En la sección digital se describen las siguientes características

- **Radio Digital Reconfigurable:** Puede usar un Procesador Digital de Señales (DSP) o un FPGA que son las tecnologías que generalmente usa el SDR, lo que le permite realizar el procesamiento y control tanto de la información recibida como de la información transmitida.
- **Conversor Análogo/Digital y Digital/Análogo (DCA & DAC):** Se encarga de convertir la señal de analógico a digital o viceversa dependiendo de la necesidad ya sea transmisión o recepción. Además cabe recalcar que se obtendrá un menor número de errores y un ahorro de energía cuando se cuente con un mayor bus de datos, una buena capacidad computacional y el tiempo de conversión sea bajo.

En relación a la sección digital se destacan las siguientes características.

- **Software Sintonzador Up Converter (Software Tunable Up Converter, ST-UC):** Comúnmente consta de un software atenuador sintonizable y un reloj sintetizador. Su función consiste en sintonizar la frecuencia digital intermedia (IF) resultante del conversor Digital/Análogo y elevarla a una frecuencia de radio o Radio Frecuencia (RF).
- **Amplificador de Potencia (Power Amplifier, PA):** Se encarga de amplificar la señal de Radio Frecuencia (RF), este proceso generalmente es realizado por un atenuador sintonizable por software para el control adaptativo del nivel de energía necesaria para la trasmisión.
- **Filtro RF Transmisor (RF Filter):** Después de que la señal es amplificada debe ser filtrada para que la radiación mediante la antena hacia el aire se realice correctamente.
- **Switch o Duplexador (Switch or Duplexing):** Depende directamente del método de duplexación que se elija estos pueden ser en tiempo (TDD) o en frecuencia (FDD). Para la duplexación en tiempo se dedica un tiempo para transmisión y otro para recepción, por otro lado cuando se emplea duplexación por frecuencia tanto la transmisión como la recepción se la puede realizar en el mismo instante.

- **Filtro RF Receptor (RF Filter):** Del mismo modo que en la transmisión, en la recepción también la señal necesita ser filtrada y de esta forma obviar las señales que se han adherido durante el viaje desde el transmisor.
- **Amplificador de Bajo Ruido (Low Noise Amplifier, LNA):** Usado para amplificar exclusivamente la señal en la frecuencia requerida y eliminar el ruido insertado en dicha señal para lo cual se usan atenuadores digitales.
- **Software Sintonizador Down Converter (Software Tunable Down Converter, ST-DC):** Habitualmente constan de un software atenuador sintonizable y un reloj sintetizador de igual forma que el ST-UC pero la función que cumple es opuesta ya que se encarga de realizar la conversión de la señal proveniente en RF a una frecuencia intermedia

1.4.5. Características de los dispositivos SDR

De acuerdo a la naturaleza programable de las plataformas SDR, sus bloques funcionales pueden ser cambiados en tiempo real y sus parámetros de operación pueden ser ajustados bien por un operador humano o por un proceso automatizado. De forma general si se hace referencia a una plataforma SDR deben tenerse siempre presentes las siguientes características (Torres, V y Vaca, G, 2014, p.16)

Multifuncionalidad: Debe ser capaz de soportar múltiples tipos de radio funciones mediante el uso de la misma plataforma digital de comunicaciones.

Movilidad Global: Capaz de operar con las diferentes redes de comunicaciones que se localizan en distintas partes del mundo.

Eficiencia de potencia y tamaño: Una sola plataforma SDR es capaz de soportar diversos estándares de comunicaciones.

Fácil de fabricar: Las funciones de banda base ahora son problema de software y no de hardware.

Fácil de actualizar: Los Firmware pueden ser actualizados y de esta forma facilitar la operación de la plataforma SDR con los estándares de comunicación más recientes.

1.4.6. Tipos de SDR

Se puede determinar una clasificación de las plataformas SDR de acuerdo a su configuración y aplicación.

- **Tipo I:** Son en general implementaciones que emplean una tarjeta de audio convencional de una PC como digitalizador y software convencional de PC como elemento de procesamiento. Posiblemente es el tipo que es más accesible para radioaficionados. De este tipo de dispositivos se desglosa una subcategoría que los clasifica en función al manejo de la tarjeta de audio (Torres, M y Vaca, C, 2014, p. 17).
- **Tipo Ia:** El SDR se implementa alimentando a la tarjeta de sonido la salida de audio de un receptor convencional de comunicaciones (Torres, M y Vaca, C, 2014, p. 17).
- **Tipo Ib:** El SDR realiza el procesamiento introduciendo a la tarjeta de sonido una señal mono que representa una frecuencia intermedia de aproximadamente 12 kHz (Torres, M y Vaca, C, 2014, p. 17).
- **Tipo Ic:** El SDR procesa introduciendo a la tarjeta de audio una señal I+Q que representa una frecuencia intermedia en el rango de frecuencias que la tarjeta de audio puede manejar. Este es el tipo quizás más potente, con mejor relación costo-prestación y de mayor atractivo para los aficionados. (Torres, M y Vaca, C, 2014, p. 18).
- **Tipo Id:** El SDR se procesa introduciendo una señal I+Q en un digitalizador y procesador de señales especializado (no en una tarjeta de audio). (Torres, M y Vaca, C, 2014, p. 18).

Tipo II: El SDR se implementa con un dispositivo especial que se encarga de capturar la señal desde la antena y la procesa a partir de allí. (Torres, M y Vaca, C, 2014, p. 18).

Tipo III: El SDR se implementa con un dispositivo especial que captura la señal desde una IF analógica y la procesa a partir de ahí. (Torres, M y Vaca, C, 2014, p. 18).

Tipo IV: El SDR es implementado por receptores especiales que toman la señal directamente desde su fuente en la frecuencia de trabajo y la procesan en toda la cadena. (Torres, M y Vaca, C, 2014, p. 18).

Tipo V: Este grupo representa la categoría de SDRs online, son radios software que están implementados en un servidor capaz de proveer parcial o totalmente la capacidad de procesamiento digital de señales, tienen cierta utilidad práctica para radio aficionados puesto que no se requiere de la compra de un equipo para el procesamiento de la señal (Torres, M y Vaca, C, 2014, p. 18).

1.5.Universal Software Radio Peripheral (USRP)

Se trata de un periférico diseñado y fabricado por la empresa ETTUS Research siendo así su empresa matriz National Instruments, el nombre de Ettus viene de Matt Ettus el mismo que dirigía un equipo de investigación, usado específicamente para implementar sistemas de radio definido por software (SDR) se lo puede definir como un hardware genérico para la transmisión y recepción de señales.

Está compuesta principalmente por una tarjeta madre (Mainboard) a la que se le pueden conectar varias tarjetas hijas (Daughterboards) las que pueden poseer desde filtros analógicos simples hasta complejos circuitos para modulación y demodulación para diferentes frecuencias.

Los microprocesadores convencionales pueden actuar como dispositivos de radio bajo un gran ancho de banda, convirtiéndose en una plataforma flexible de bajo costo que permite implementar y diseñar potentes sistemas de radiocomunicaciones con aplicaciones en tiempo real. En esencia, sirve como procesador digital de banda base y convertidor de frecuencia intermedia FI en un sistema de radiocomunicación.

1.5.1. Estructura del USRP

USRP contracción que traducida al español significa Sistema Periférico Universal de Radio es definido de este modo debido a que la idea principal de su creación fue trabajar en conjunto con un procesador externo como un equipo computacional dicho equipo de computación debía poder funcionar como un software de radio de alto rendimiento, con la capacidad de operar en banda ancha. El sistema computacional opera como una banda base digital y también como una sección de frecuencia intermedia del sistema de radio comunicaciones.

El diseño de los USRP le permite adicionalmente acoplarse perfectamente tanto en forma eléctrica como mecánica a otras tarjetas tales como: transmisores, receptores, receptores de televisión entre

otras, consiguiendo un traslado ideal de la información entre la sección banda base con la de IF y la de RF con la frecuencia a la que se desea transmitir.

Lo que se pretende conseguir con el acoplamiento del computador y la USRP es el procesamiento total de la forma de onda que se desea transmitir, esto implica que la parte de modulación y demodulación de la forma de onda se llevara acabado dentro del computador, mientras tanto las operaciones que demanden una alta velocidad, digitalización, conversión, decimación e interpolación se llevaran a cabo en el USRP de una manera más específica en el FPGA que este posee.

La parte neurálgica del USRP está en el FPGA, por lo que los diseñadores han considerado que los usuarios pueden trabajar ilimitadamente con la configuración inicial y estándar del FPGA, sin embargo , si la situación amerita y se requiere cambiar dicha configuración, esto es posible ya que la interface está diseñada, definida y documentada para ejecutar dichas acciones.

Es posible afirmar que el USRP posee un diseño modular basada en una tarjeta madre con cuatro ranuras de expansión, cada una de las ranuras se encuentra etiquetada como TXA, RXA, TXB, RXB, respectivamente y la organización de los buses Serial Peripheral Interface (SPI) es realizada de tal manera que si se ocupa las cuatro ranuras de expansión, las tarjetas se observarán, una invertida con respecto a la otra. Esto nos permite realizar múltiples configuraciones, es decir, podemos conectar dos tarjetas con capacidad de transmisión y dos tarjetas para recepción o también se puede conectar dos tarjetas tranceiver cada una con la capacidad de realizar las dos funciones transmisión y recepción (Angulo, H y Paredes, Darwin, 2011, p. 25-26).

En la Figura 22-1 se muestran las funciones llevadas a cabo por el USRP las mismas que son llevar la señal a banda base de RF a través de la sección de IF y viceversa. La comunicación con el computador se lleva a cabo mediante el puerto USB, la comunicación con el computador es necesaria ya que este será el encargado de realizar el procesamiento de software.

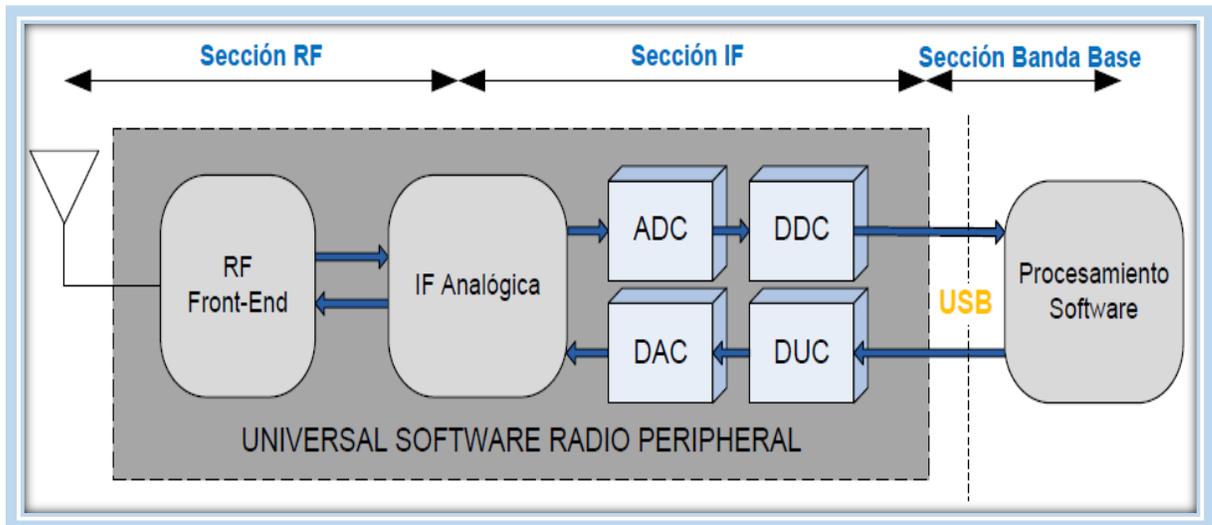


Figura 22-1: Bloques principales del USRP
Fuente: Pinar, I y Murillo, J, 2011

1.5.2. Características del USRP

Desde un punto de vista simple se puede dividir el USRP en dos niveles de tarjetas. El primer nivel compuesto de la tarjeta madre (mainboard) dentro de la cual se encuentran la FPGA, los convertidores analógico digital (ADC's) y digital analógico (DAC's), además la conexión USB para comunicarse con el sistema computacional y la alimentación del USRP. El segundo nivel está comprendido por las denominadas tarjetas hijas o secundarias (Daughterboards) mismas que son usadas para transmisión y recepción. Un USRP puede operar con varias tarjetas secundarias que pueden ser transceptoras (TRx) lo que implica que pueden realizar transmisión y la recepción a la vez.

En la Figura 23-1 se puede apreciar un diagrama de bloques del USRP, en el mismo se observa la distribución del procesador (FPGA), los convertidores (DAC Y ADC) y la interface de conexión USB. Algunas tarjetas también poseen la funcionalidad de un procesador integrado lo que permite un trabajo más independiente sin la necesidad de conectarse a un sistema computarizado para su configuración.

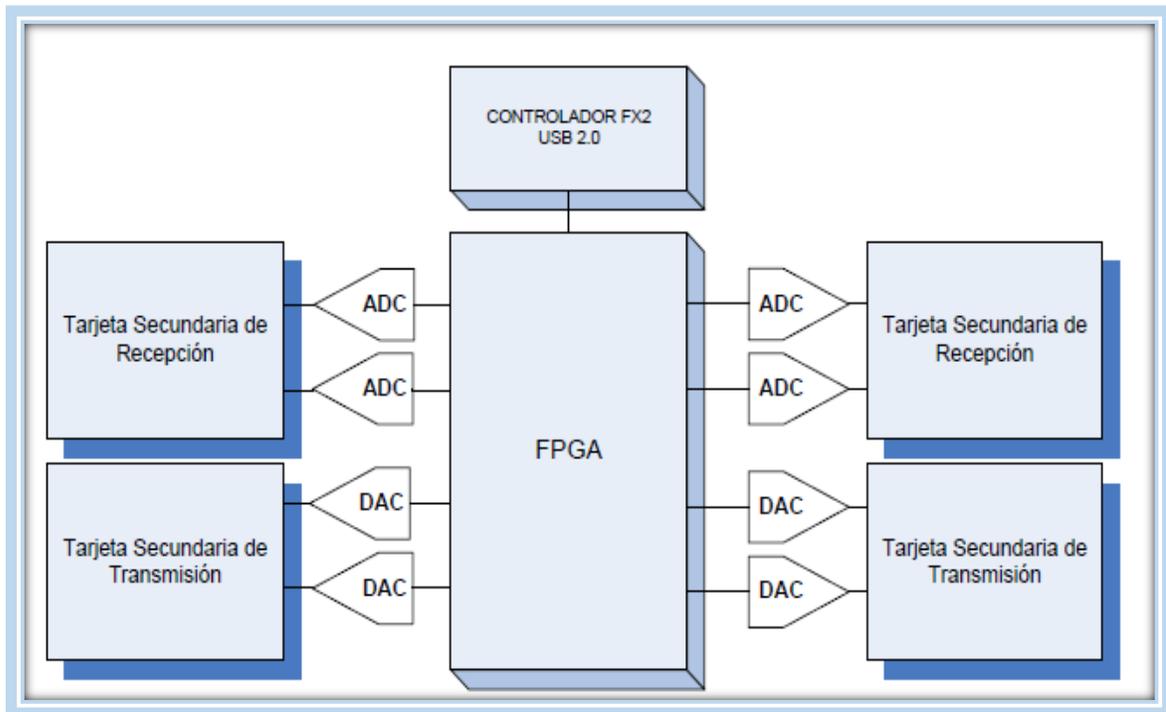


Figura 23-1: Diagrama de bloques principales del USRP

Fuente: Pinar, I y Murillo, J, 2011

1.6.FPGA

Un FPGA (Field Programmable Gate Array) se lo define como un arreglo de bloques lógicos programables colocados en una infraestructura de interconexiones programables; es posible programar la funcionalidad de los bloques lógicos, las interconexiones entre bloques y las conexiones entre entradas y salidas. Un FPGA es programable a nivel hardware, la grabación o programación de uno de estos dispositivos se puede llevar a cabo en milisegundos.

Un FPGA proporciona las ventajas de un procesador de propósito general y un circuito especializado que puede reconfigurarse las veces que sea necesario para depurar su funcionalidad. El tamaño y velocidad de los FPGA's son equiparables a los ASIC (circuitos integrados de aplicación específica), pero los FPGA son más flexibles y su ciclo de diseño es más corto (Hernández, E, 2005, p. 5)

Dentro del trabajo de un USRP el FPGA es fundamental para el acampamiento PC-USRP debido a que los convertidores analógicos- digitales y los convertidores digitales-analógicos se conectan directamente al FPGA. El objetivo del FPGA es reducir al mínimo la gran cantidad de operaciones matemáticas y de este modo enviar una tasa mínima de datos por el interfaz USB.

1.7. Tarjeta USRP B210

Las tarjetas USRP unifican sistemas de comunicación en una sola plataforma buscando reducir costos y de esta manera su uso sea más accesible para universidades, aficionados y centros de investigación en general.

Por lo general las tarjetas USRP son controladas por computadora aunque también existen algunas tarjetas también poseen la funcionalidad de un procesador integrado lo que permite un trabajo más independiente sin la necesidad de un computador para su control.

La mayor parte de productos relacionados a las tarjetas USRP son de código abierto lo que permite a los desarrolladores tener toda la accesibilidad necesaria, el controlador o driver que permite la manipulación de las tarjetas mediante una computadora es el USRP Hardware Driver (UHD) desarrollado bajo código abierto

Las tarjetas USRP en su mayoría operan bajo Linux en distribuciones conocidas tales como Ubuntu, Debían, Fedora, etc. Cuando se usan con un SO basado en Linux hacen uso de la radio GNU que no es más que un sistema de software de código abierto que permite crear sistemas de radio complejos, es el software más usado para trabajar con estas tarjetas.

Además de Linux las USRP también puede trabajar bajo los sistemas operativos MacOS y Windows en este último utiliza el software Matlab versión en su versión 2014b o superiores las cuales ya poseen el paquete de instalación de los controladores de las USRP B210 pero para que el software reconozca la tarjeta es necesario la instalación de dichos paquetes adicionales

1.7.1. Estructura Física de la Tarjeta USRP B210.

Desde un aspecto físico la USRP B210 se puede describir como una tarjeta compuesta de varios puertos de entrada y salida así como también zócalos para entradas adicionales como relojes de presión, antenas GPS, ranuras de expansión entre otros. También se la puede encontrar en un encapsulado con el fin de proteger los componentes electrónicos de la tarjeta, en este encapsulado se puede apreciar únicamente los puertos de conexión de antenas, el puerto de conexión USB 3.0 y el puerto de alimentación de VDC, en la Figura 24-1 se puede apreciar la estructura física de la USRP B210.

La conexión USB puede ser usada como alimentación de la tarjeta, aunque también posee un puerto de alimentación de 6 VDC.

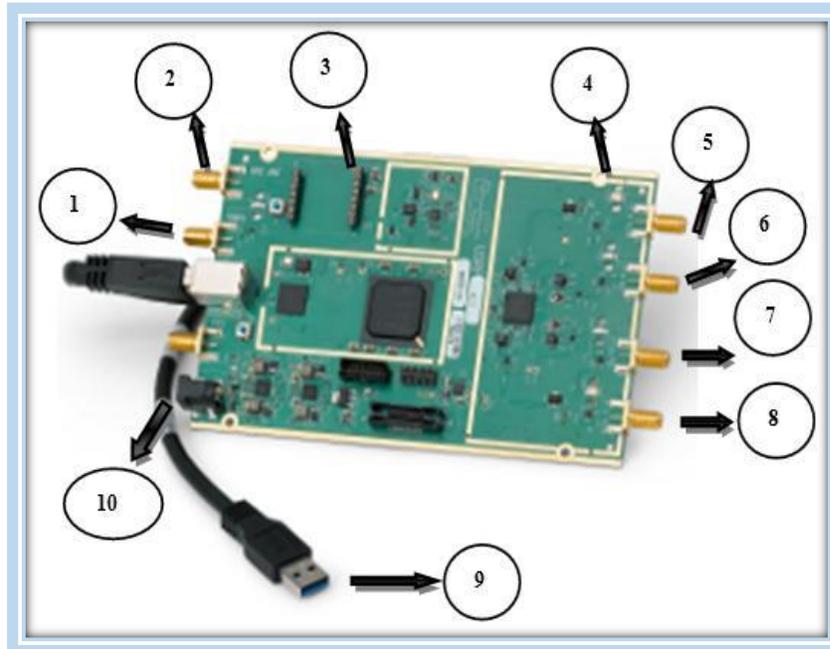


Figura 24-1: Estructura física de la tarjeta USRP B210
Fuente: GAIBOR M y JAMI E, 2016

1. Entrada de antena para 10Mhz
2. Entrada de antena para GPS
3. Zócalo para reloj de precisión
4. Ranuras para sujetar la tarjeta
5. Trasmisión o recepción de Radio frecuencia bloque secundario
6. Recepción de radio frecuencia bloque secundario
7. Recepción de señales de radio frecuencia bloque Primario
8. Trasmisión o recepción de Radio frecuencia bloque primario
9. Cable USB 3.0
10. Alimentador de voltaje D.C.

1.7.2. Estructura funcional de la tarjeta USRP B210

La USRP B210 está compuesto de bloques, componentes y/o dispositivos, que le permiten llevar a cabo la transmisión, recepción y el procesamiento de la señal, como se aprecia en la Figura 25-1 de la cual se pueden destacar los siguientes bloques:

El conector USB 3.0 permite la comunicación entre el computador y la USRP, mediante este puerto se puede realizar transferencia de información a alta velocidad.

El bloque USB 3.0 PHY se encarga de convertir la información que intercambian el computador y la USRP a código python que es el lenguaje que utiliza la tarjeta para ejecutar el procesamiento de la señal. Python es un lenguaje de programación interpretado, esto quiere decir que no se necesita compilar el código fuente para poder ejecutarlo ofreciendo ventajas como la rapidez de desarrollo e inconvenientes como una menor velocidad.

En el bloque FPG se realiza el control, transporte y sincronización mediante el driver UHD que es requerido para trabajar con dispositivos USRP. Es una librería escrita en C++ pensada para trabajar en plataformas Linux, Windows y Mac OS. Este driver es el encargado de proveer control sobre los productos de Ettus Research. Además dentro del bloque FPGA se identifica el puerto configurado es decir si se realizara una transmisión o una recepción.

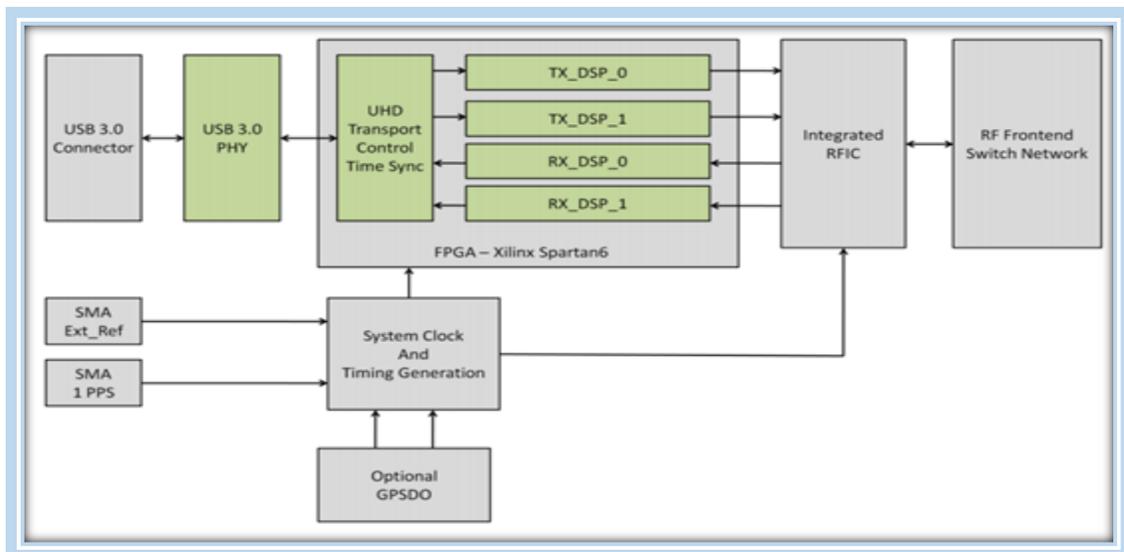


Figura 25-1: Diagrama de bloques de la USRP B210.

Fuente: https://www.ettus.com/content/files/b200-b210_spec_sheet.pdf

CAPITULO II

2. MARCO METODOLOGICO

2.1. Introducción

En este capítulo se describe el diseño propuesto del sistema radar así como la estructura del sistema radar implementado también se presenta la descripción de cada uno los principales bloques que lo componen y la función que llevara a cabo cada uno de los mismos.

También se describen los requerimientos tanto en hardware como en software, sus características funcionamiento y la función que desempeña en el desarrollo, configuración e implementación del sistema radar.

Además este capítulo contiene el proceso que se llevó a cabo para poder implementar el sistema, también se muestra el diseño propuesto.

2.2. Diseño del sistema radar

Para empezar con el diseño del sistema radar, se determinó la arquitectura tanto del transmisor como del receptor del sistema radar, lo que permitirá obtener una visión general de la composición del sistema, por lo cual primero se estableció un diagrama que presenta la estructura del sistema propuesto, mostrando los componentes que requerirá el sistema radar para su funcionamiento. La estructura del sistema propuesto se puede apreciar en la Figura 1-2.

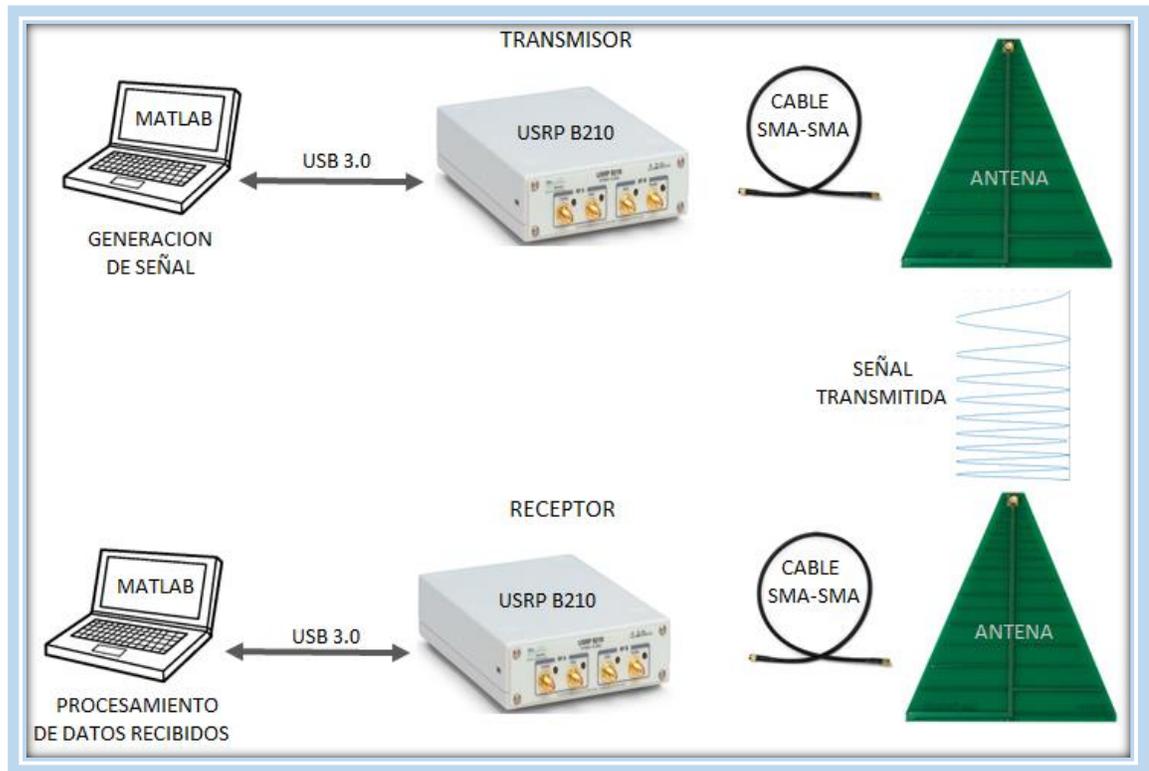


Figura 1-2: Diseño propuesto del sistema radar
 Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

2.3. Requerimientos del sistema

Como se aprecia en la Figura 1-2 el sistema propuesto hace uso de dos computadoras, dos tarjetas USRP B210 y dos antenas las mismas que se conectan a las USRP mediante un cable SMA con conector de rosca macho.

Además se puede apreciar que tanto el transmisor como el receptor son similares en su composición, ya que cada uno requiere los mismos componentes, la diferencia recae en su funcionamiento y la forma en que hace uso de sus recursos.

Las computadoras deben tener instalado el software Matlab 2014b o superiores y además el paquete adicional para controlar las tarjetas USRP. Para que los drivers de la USRP se instalen correctamente, es recomendable que las computadoras estén trabajando con el sistema operativo Windows 7.

2.3.1. Descripción de los componentes requeridos por el sistema

Una vez determinada la estructura que tendrá el sistema se determinó los elementos necesarios así como las características de los mismos que serán de utilidad para el desarrollo del sistema, a continuación se describe cada uno de los elementos que serán requeridos para el diseño y la implementación del sistema de igual manera se describen las características que poseen los elementos para trabajar en conjunto y poder llegar a obtener los resultados deseados.

2.3.1.1. Tarjeta USRP B210

Las tarjetas USRP pueden conectarse a los computadores a través de enlaces cuyas velocidades son relativamente altas, dichos enlaces pueden tratarse de puertos USB mediante los cuales los ordenadores pueden controlar el software de las tarjetas USRP permitiendo así la transmisión y recepción de datos. La USRP B210 se puede conectar al computador mediante un puerto USB 3.0, mediante pero si el computador solo cuenta con puertos USB 2.0 la tarjeta podrá ser reconocida pero la velocidad de transferencia de datos será menor. En la Tabla 1-2 se muestran algunas de las características de la tarjeta USRP B210 que será empleada para el desarrollo del presente trabajo.

Tabla 1-2: Características de la USRP B210

Característica	Descripción
Frecuencia (GHz)	0.07 – 6
Ancho de Banda	56 MHz
Velocidad máxima	50 Mbits/s
Transmisión/Recepción	2 TX & 2 RX, Half duplex o full duplex
Entrada/Salida	MIMO 2x2
FPGA	Xilinx Spartan 6 XC6SLX150
Interfaz	USB 3.0
Configuración	Matlab, GNU RADIO

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

Fuente: https://www.ettus.com/content/files/b200-b210_spec_sheet.pdf

En la Figura 2-2 se muestra la vista frontal de la USRP B210 donde se precian los puertos de conexión de las antenas.



Figura 2-2: Vista frontal d la USRP B210

Realizado por: <https://www.ettus.com/product/details/USRP-B200-Enclosure>

En la Figura 3-2 se muestra la vista posterior de la USRP B210 en la que se puede apreciar el puerto USB 3.0 y el conector de alimentación así como también los puertos adicionales para antenas especiales.



Figura 3-2: Vista posterior de la USRP B210

Realizado por: <https://www.ettus.com/product/details/USRP-B200-Enclosure>

2.3.1.2. Antena periódica logarítmica (LP0965)

Una antena constituye un dispositivo diseñado con el fin de emitir y/o recibir ondas electromagnéticas hacia y desde el espacio libre. Las antenas transmisoras son capaces de transformar la energía eléctrica en ondas electromagnética mientras tanto las antenas de recepción realizan el proceso contrario.

El radar propuesto necesita dos antenas una para transmisión y otra para recepción, las tarjetas USRP cuentan con un grupo de componentes adicionales para trabajar con la misma, entre ese grupo de componentes se encuentra un conjunto de antenas que son compatibles con las características de la tarjeta, entre las cuales se encuentra la antena LP0965 cuyas características se muestran en la Tabla 2-2.

La antena trae consigo un conector SMA hembra mismo que se encuentra separado de la antena por lo cual es necesario soldar el conector a la antena con mucho cuidado para que su funcionamiento sea correcto.

Tabla 2-2: Características de la antena LP0965

Característica	Descripción
Frecuencia de trabajo	850 MHz - 6.5 GHz
Ganancia	5-6 dBi
Tipo	Logarítmica
Directiva	Si
Conector	SMA hembra

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

Fuente: <https://www.ettus.com/product/details/LP0965>

En la Figura 4-2 se puede apreciar la antena descrita anteriormente.



Figura 4-2: Antena LP0965
Realizado por: <https://www.ettus.com/product/details/LP0965>

2.3.1.3. Cable SMA-SMA

La antena está diseñada para trabajar con la tarjeta USRP, pero no se puede conectar directamente, por lo cual hace uso de un cable para poder hacerlo. Dicho cable es de tipo coaxial con conectores de rosca SMA machos ubicados uno en cada extremo del cable, mismos que se conectan perfectamente con los conectores SMA hembra ubicados en la USRP y en la antena, las características del cable se aprecian en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Características del cable SMA-SMA

Característica	Descripción
Tipo	Coaxial
Impedancia	50 ohmios
Conector	SMA macho uno en cada extremo
Longitud	1m
Tipo de coaxial	LRM-195

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016
Fuente: <https://www.ettus.com/product/details/SMA-SMA>

En la Figura 5-2 se muestra al cable SMA-SMA usado para el diseño



Figura 5-2: Cable SMA-SMA
Realizado por: <https://www.ettus.com/product/details/SMA-SMA>

2.3.1.4. Computadora

En la figura también se puede apreciar la necesidad de dos computadoras las mismas que se encargaran de controlar las tarjetas USRP B210, una computadora compondrá la parte del transmisor mientras que la otra compondrá el receptor, además la pc usada para la recepción también se usara para el procesamiento de los datos recibidos, las características principales que deben poseer las computadoras para poder trabajar en conjunto con las USRP se aprecian en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Características que debe poseer las computadoras usadas

Característica	Descripción
Sistema operativo	Windows 7
Software requerido	Matlab 2014b o superiores

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

2.3.2. *Matlab*

Como ya se mencionó las computadoras deben poseer el software Matlab por medio del cual se controlaran y configuraran las tarjetas USRP, además Matlab permitirá generar la señal que se desea transmitir así como también el procesamiento de la señal recibida.

El nombre Matlab no es más que la abreviatura de MATriz LABoratory o en español laboratorio matricial, se trata de un software de alta capacidad que permite el cálculo, análisis matemático y procesamiento de señales gracias a la representación de graficas en 2D Y 3D que son de fácil uso para identificar sistemas dinámicos, diseño de sistemas de control entre otros con el fin de ahorrar el tiempo de computo.

Matlab brinda un sistema de entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación M lo que permite crear interfaces de usuarios GUI con la ayuda de un editor de interfaces de usuario (GUIDE). Matlab puede comunicarse con otros programas de diferentes lenguajes usados por dispositivos de hardware.

Matlab está desarrollado para brindar solución a problemas en distintos ámbitos como: física, química, matemáticas, diseño de ingeniería entre otros. En el campo de análisis de señales referente a la Electrónica se puede realizar el estudio de series de Fourier de señales triangulares, cuadradas, diente de sierra o impulso, además se puede realizar el análisis de antenas, radares, microondas, medios guiados y no guiados.

“... Matlab basado en la matriz es la forma natural en la mayor parte del mundo para expresar matemática computacional. Gráficos integrados hacen que sea fácil de visualizar y obtener información a partir de datos. Una vasta biblioteca de cajas de herramientas prediseñados le permite comenzar de inmediato con algoritmos esenciales a su dominio. El entorno de escritorio invita a la experimentación, la exploración y el descubrimiento...” (MATHWORKS, 2015, p. <http://www.mathworks.com/products/matlab/>).

En la Figura 6-2 se puede apreciar la interfaz de Matlab

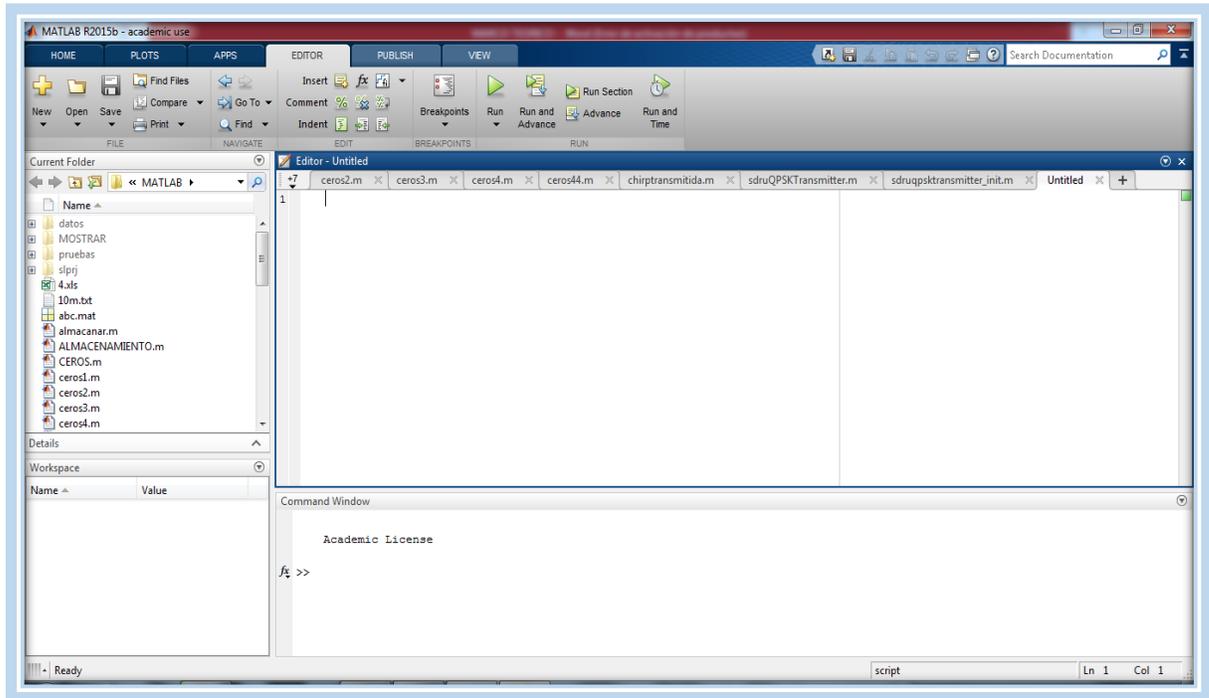


Figura 6-2: Interfaz de trabajo de Matlab
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

2.4. USRP y Matlab

“...MATLAB y Simulink se conectan a la familia USRP de radios definidas por software para proporcionar un entorno de radio-in-the-loop para SISO y diseño de sistemas MIMO inalámbrico, creación de prototipos, y la verificación. Es compatible con la USRP N200 / N210, B200 / B210, y X300 / X310 SDRs para transmitir y recibir señales de RF en tiempo real, permitiendo el uso de MATLAB y Simulink para configurar los parámetros de radio, generar formas de onda, los algoritmos de diseño y medida y analizar las señales...” (MATHWORKS, 2015, p. <https://www.ettus.com/sdr-software/detail/matlab-and-simulink>)

Si bien Matlab permite trabajar con las tarjetas USRP antes de comenzar a desarrollar cualquier sistema es necesario instalar un paquete adicional que permita a Matlab reconocer la USRP, dicho paquete es conocido como “USRP radio” mismo que se puede descargar desde la página oficial de Matlab o a su vez también se puede instalar directamente desde el software. Una vez instalado se puede proceder a conectar la USRP a la PC y comenzar con el diseño de los sistemas por medio de Matlab, en la Figura 7-2 se puede apreciar la conexión entre la PC y la USRP.

Como ya se mencionó anteriormente la versión de Matlab debe ser compatible con el tipo de tarjeta. Para la USRP B210 debe ser Matlab 2014b o superiores, para el diseño expuesto en este trabajo se utilizara Matlab R2015b.

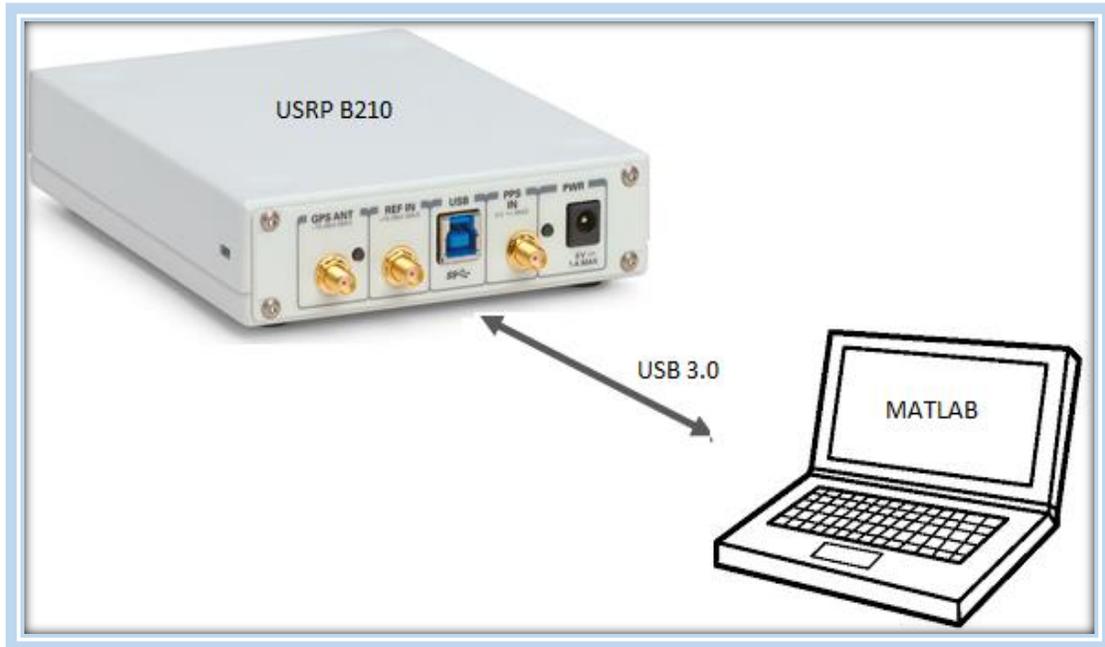


Figura 7-2: Conexión PC-USRP
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

2.5. Diagrama funcional del Sistema radar

En la Figura 8-2 se aprecia un diagrama más profundo del sistema propuesto donde se expone de forma general las funciones de la USRP B210.

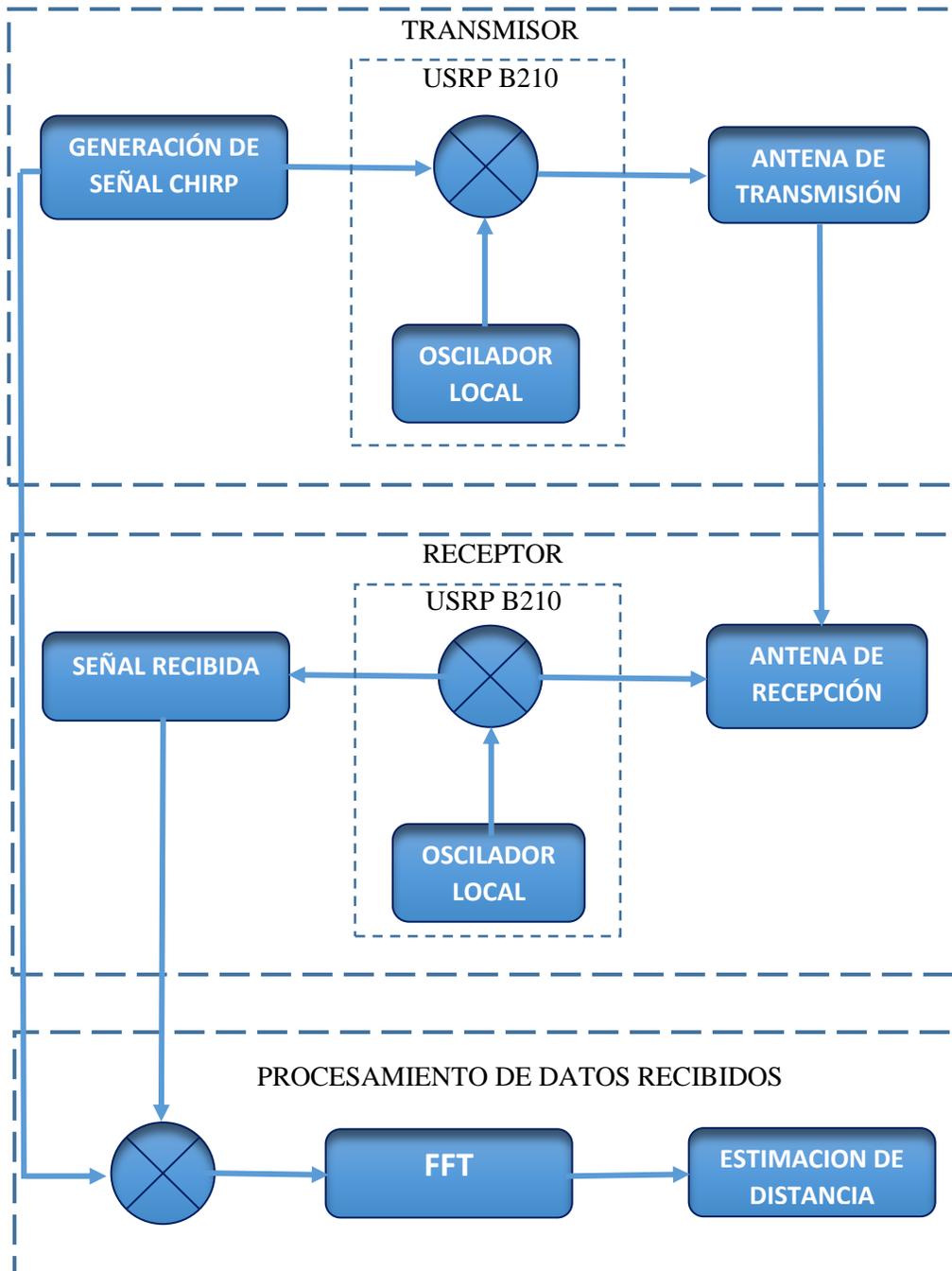


Figura 8-2: Diagrama funcional del sistema propuesto
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

2.5.1. Transmisor

La tarjeta USRP se conecta con una computadora mediante el cable USB 3.0 para permitir la comunicación entre las mismas. Con la ayuda del software Matlab se genera la señal deseada y se definen los parámetros de configuración de la USRP necesarios para la transmisión. La señal pasa desde la PC hacia la tarjeta a través del cable USB, la USRP ejecuta toda la configuración indicada en Matlab y envía la señal hacia el puerto de transmisión el mismo que se encuentra conectado con una antena mediante un cable SMA, finalmente la antena se encarga de irradiar la señal generada hacia el aire. Como se observa en la Figura 8-2 el transmisor se puede dividir tres bloques los mismos que se describen a continuación. .

2.5.1.1. Generación de señal chirp

Este bloque se refiere a la generación de la señal necesaria para la transmisión, este bloque será realizado en su totalidad mediante software. Con la ayuda de Matlab se desarrolló un programa que lleve a cabo los procesos requeridos. Estos procesos se pueden apreciar en la Figura 9-2 , para lo cual se utilizó como base un ejemplo realizado en Matlab con las tarjetas USRP B210, mismo que se descarga al momento de instalar el paquete controlador de radio, este ejemplo se trata de un transmisor y un receptor QPSK.



Figura 9-2: Bloques que componen la señal chirp

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

Como se mencionó en el capítulo anterior un radar FM-CW varía su frecuencia en el tiempo esta característica brinda la capacidad de medir distancias, además también se indicó que la señal que varía en frecuencia es conocida como chirp.

Por lo cual para la implementación del sistema radar del presente trabajo se utilizó una señal chirp generada a partir de un coseno basándose en las ecuaciones que definen este tipo de señal, (ecuación 6-1).

En la figura 10-2 se puede apreciar la señal chirp generada mediante Matlab, en la cual la frecuencia aumenta en el tiempo por lo tanto se puede decir que la señal usada es up-chirp.

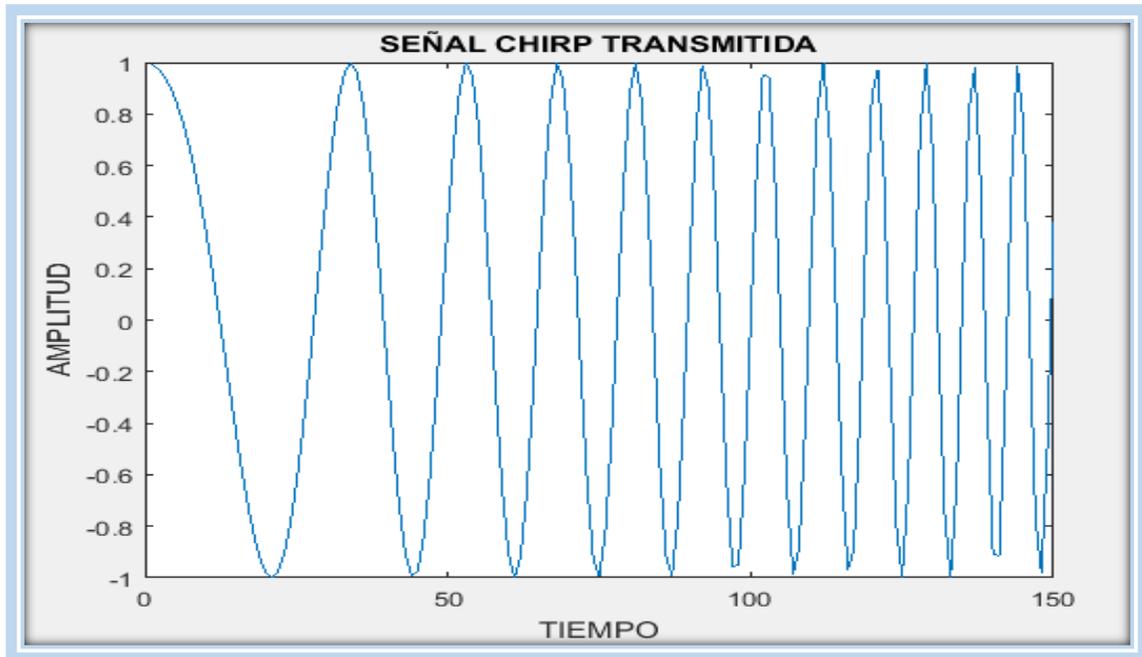


Figura 10-2: Señal chirp generada
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

Como se aprecia en la Figura 10-2 se generó una señal analógica, misma que en el bloque de conversión será transformada a bits mediante las funciones existentes en las bibliotecas de Matlab. Los bits generados se modulan utilizando una modulación QPSK para enviar los datos hacia la USRP mediante el cable USB.

2.5.1.2. USRP en transmisión

La USRP recibe los datos enviados desde la computadora en base a los parámetros previamente configurados, estos parámetros se indican en un programa escrito en Matlab en base a este programa la USRP realiza el proceso de transmisión, realiza la conversión digital-analógico de los datos recibidos desde la PC. Se genera una señal analógica que transporta la señal chirp generada, eleva la señal en frecuencia y la envía hacia el puerto de transmisión adecuado, donde se encuentra conectada la antena de transmisión que irradia la onda electromagnética hacia el espacio.

2.5.2. Receptor

La antena de recepción capta la señal irradiada por el transmisor y la envía hacia la USRP mediante el cable SMA. La USRP interpreta la señal recibida según su configuración para recepción. La señal recibida llega a la PC a través del cable USB y es mostrada en la pantalla. La señal recibida debe estar retardada es decir desplazada en el tiempo con respecto a la señal transmitida. Como se puede ver en la Figura 8-2 el proceso de recepción es inverso al proceso de transmisión cuenta con los mismos bloques pero se ejecutan en sentido contrario.

2.5.2.1. USRP en recepción

La señal radiada por la antena del receptor es captada por la antena ubicada en un puerto de recepción de la USRP. Basándose en los parámetros previamente configurados, mismos que se indican en un programa escrito en Matlab realiza el proceso de recepción, ahora el proceso se invierte con el fin de recuperar los datos que se transmitieron en un principio. La USRP baja en frecuencia la señal recibida para poder procesarla dicha señal pudo haber sufrido algún tipo de degeneración o a su vez pudo haber absorbido ruido cuando viajaba en el espacio por lo cual la USRP se encarga de filtrar la señal para conservar la fidelidad de los datos. La señal recibida es de tipo analógica por lo cual la USRP hace uso de su conversor de analógico-digital, una vez realizada la conversión la USRP envía los datos hacia la PC a través del cable USB.

2.5.2.2. Recepción de señal

Este bloque hace referencia a la recuperación de la señal transmitida en la PC, con la ayuda de Matlab se desarrolló un programa que permita la recuperación de los datos. Utiliza el mismo procedimiento que se usó para la generación de la señal chirp pero en sentido contrario como se aprecia en la Figura 11-2.



Figura 11-2: Bloques que conforman la recepción de la señal
Realizado: MERCHÁN, C, 2016

Como se indicó en el transmisor se usó modulación QPKQ por lo cual los datos deben ser demodulados para poder realizar este proceso se aplica su inverso es decir la demodulación QPSK con esto se recuperaran los bits en los que se convirtieron la señal chirp. Ahora que se posee la trama de bits estos deben ser convertidos al valor con el que conformaban la señal chirp generada en el transmisor.

2.5.3. *Procesamiento de datos recibidos*

Los valores recuperados que forman parte de la señal chirp se almacenan en un documento de texto para poder usarlos y estimar la distancia existente entre el transmisor y el receptor. Los datos almacenados son depurados por medio de una programación realizada en el software Matlab con el fin de eliminar los datos que no forman parte de la señal chirp original. Una vez depurados los datos se obtiene la señal chirp con un desplazamiento en el tiempo como se observa en la Figura 12-2.

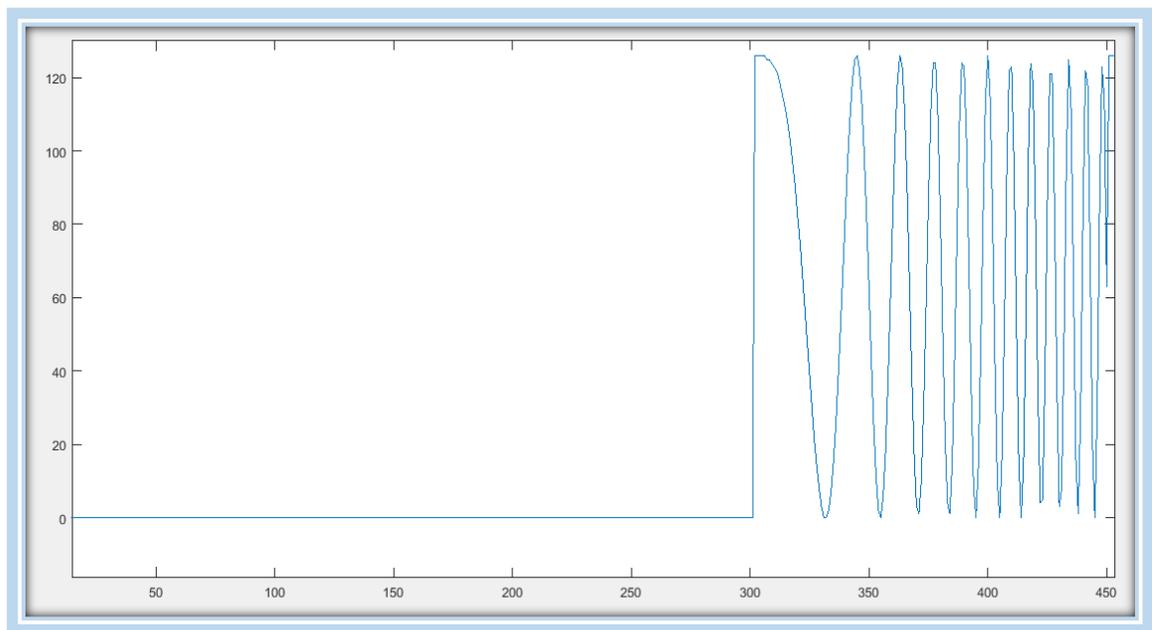


Figura 12-2: Señal recibida por el radar.

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

En base a lo indicado en el primer capítulo para estimar la distancia en necesario multiplicar la señal original generada en el transmisor y la señal recuperada en el receptor basándose en la ecuación 12-1, en la Figura 13-2 se puede ver la multiplicación de las dos señales.

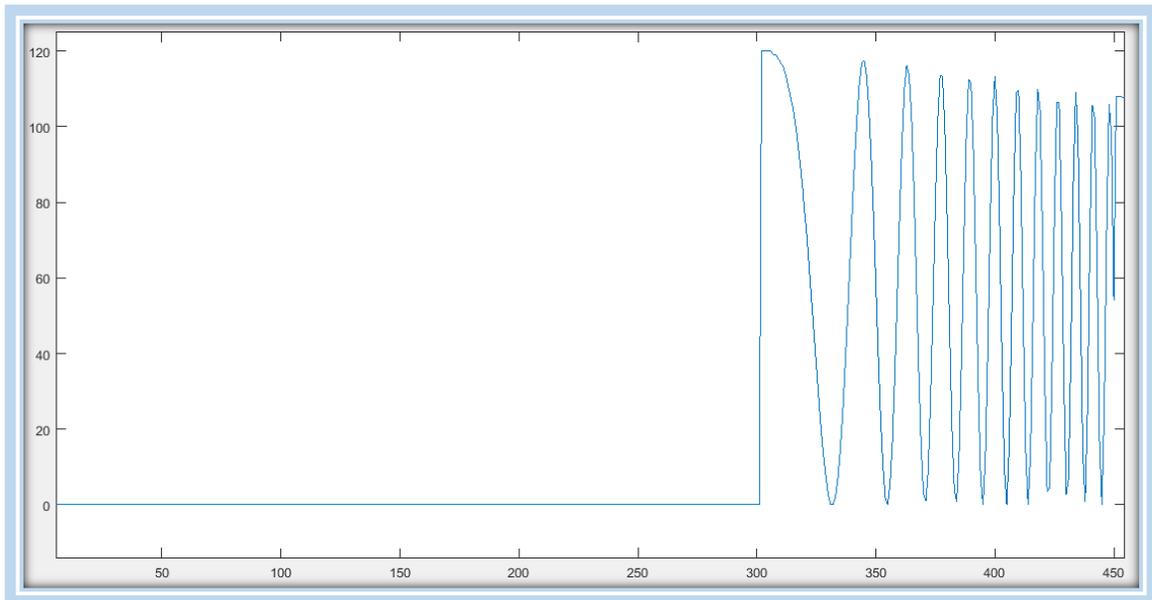


Figura 13-2: Multiplicación de la señal original y la señal recibida
 Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

Después de obtener los resultados de la multiplicación se aplica la transformada rápida de Fourier (FFT), lo que permitirá la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Cuando se obtiene la FFT se procede a graficar la misma ahora mediante el análisis de la gráfica se puede obtener la distancia aproximada a la que se encuentra el receptor respecto al transmisor. La FFT se muestra en la Figura 14-2.

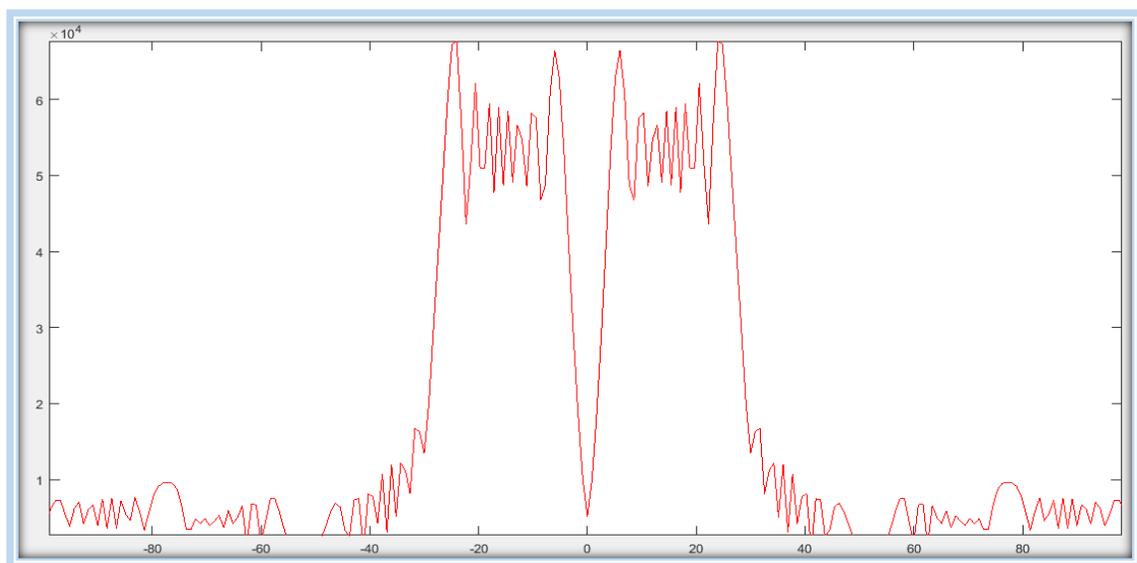


Figura 14-2: Transformada de Fourier de la multiplicación
 Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS

3.1. Introducción

En este capítulo se muestran las pruebas realizadas al sistema radar implementado, comenzando con la comunicación entre la computadora y la tarjeta USRP realizan pequeñas pruebas para comprobar la correcta comunicación entre hardware y software es decir entre la tarjeta USRP y Matlab.

Después de comprobar la correcta comunicación entre la computadora y la tarjeta, se procedió a realizar la programación correspondiente tanto para la transmisión como para la recepción mediante software.

Una vez realizada la programación se implementó el sistema para realizar las pruebas correspondientes, durante las pruebas se observó el comportamiento de la tarjeta USRP B210 en transmisión y en recepción. Al comprobar el correcto funcionamiento de las etapas de transmisión y recepción se realizó pruebas a diferentes distancias y se realizó el procesamiento de los datos obtenidos a diferentes distancias.

3.2. Conexión PC-USRP

En base a lo señalado en el capítulo anterior la USRP será controlada mediante una computadora para lo cual fue necesario comprobar la correcta comunicación entre la computadora y la tarjeta. Para llevar a cabo este paso se procedió primero a conocer la composición física de la USRP con el fin de evitar cualquier riesgo de avería o mal funcionamiento.

Una vez conocida estudiada la composición física de la tarjeta y reconocidos sus puertos se procedió a cumplir con los requisitos que debe cumplir la computadora mismos, es decir la instalación de sistema operativo Windows 7y la instalación de Matlab para realizar el sistema se utilizó Matlab R2015b.

Después de instalar el software en la computadora se procedió a instalar el paquete adicional que se encargara de controlar la comunicación entre el computador y la tarjeta una vez realizado esto se realizó la conexión física entre la computadora y la USRP mediante el cable USB 3.0 como se aprecia en la Figura 1-3.

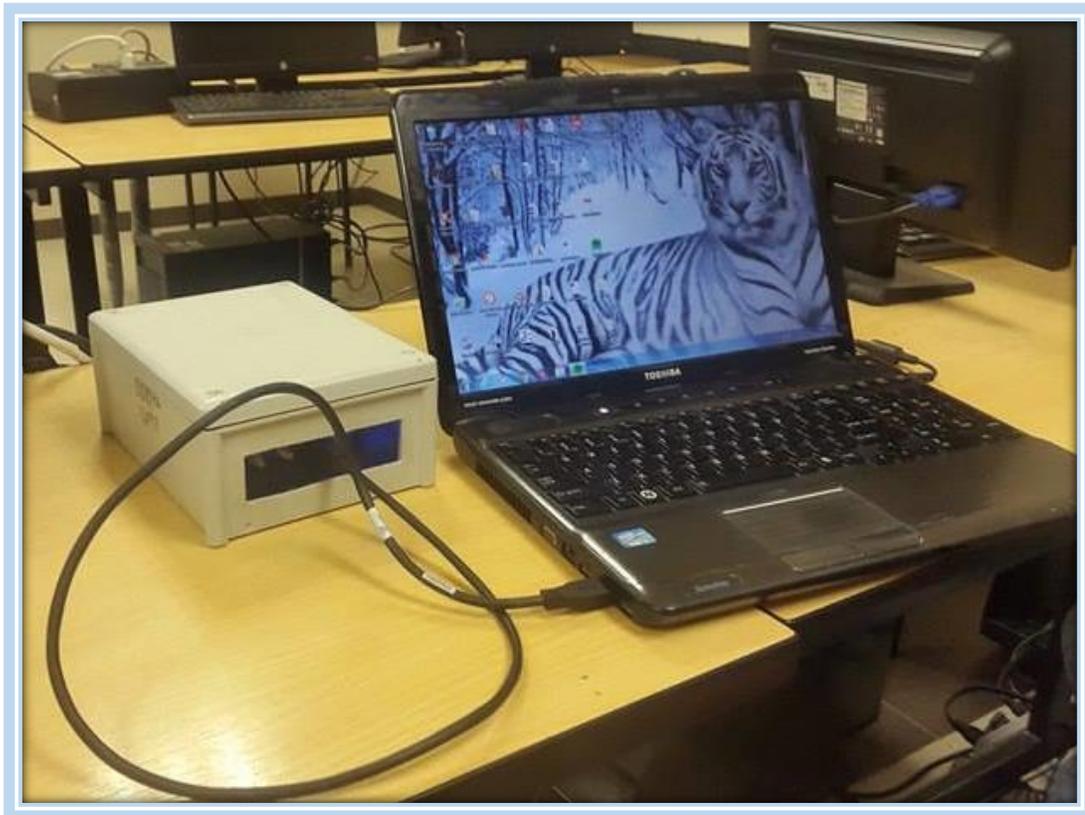
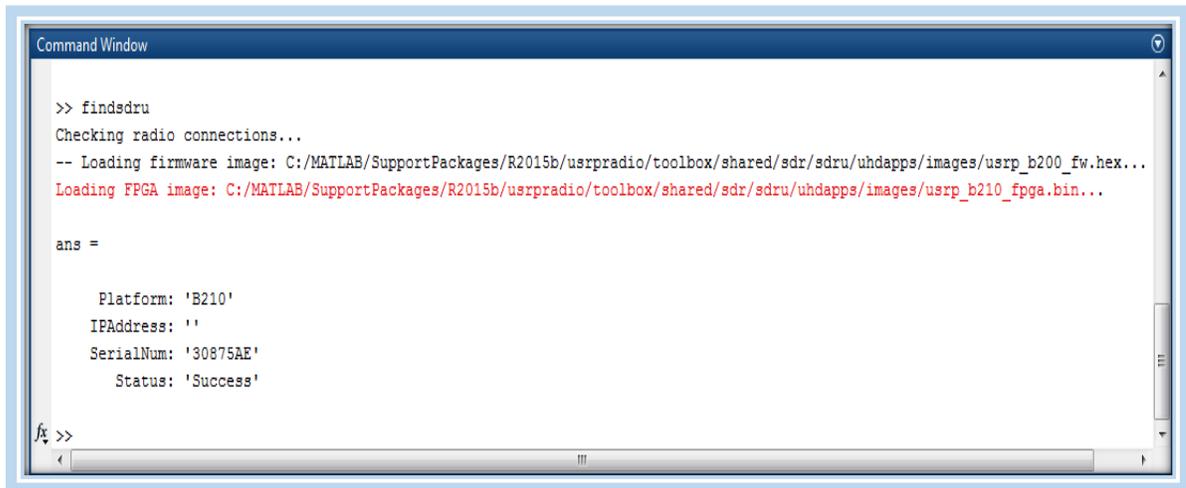


Figura 1-3: Conexión Física entre la PC y la USRP
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

Después de realizar la conexión física se procedió a comprobar la existencia de comunicación para esto nos ayudamos del software una vez dentro de Matlab es necesario introducir el comando “findsdr”, al ejecutar el comando se nos mostrara en la pantalla datos relacionados con la tarjeta USRP como el tipo de tarjeta, el numero serial de la misma y el estado de la conexión, como se aprecia en la Figura 2-3.



```
Command Window

>> findsdru
Checking radio connections...
-- Loading firmware image: C:/MATLAB/SupportPackages/R2015b/usrpradio/toolbox/shared/sdr/sdru/uhdapps/images/usrp_b200_fw.hex...
Loading FPGA image: C:/MATLAB/SupportPackages/R2015b/usrpradio/toolbox/shared/sdr/sdru/uhdapps/images/usrp_b210_fpga.bin...

ans =

    Platform: 'B210'
    IPAddress: ''
    SerialNum: '30875AE'
    Status: 'Success'

fx >>
```

Figura 2-3: Comprobación de comunicación PC-USRP
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

3.3. Implementación del sistema propuesto

Una vez comprobado que la comunicación entre la computadora y la USRP es exitosa se procedió a implementar el sistema radar. Antes de proceder a implementar se cumplió con los requisitos tanto en hardware como en software descritos en el capítulo anterior.

Después de implementar el sistema completamente se procedió a realizar algunas pruebas de funcionamiento, durante la realización de dichas pruebas se encontró con un inconveniente el sistema no poseía la suficiente potencia para que las antenas puedan irradiar la señal a distancias superiores a 1m, se realizaron varias pruebas con diferentes antenas y variando parámetros de la USRP sin conseguir los resultados deseados. Finalmente se optó por cambiar el diseño planteado en principio y sustituyendo las antenas por cable coaxial mismo que simulara la distancia existente entre transmisor y receptor quedando el sistema como se observa en la Figura 3-3.

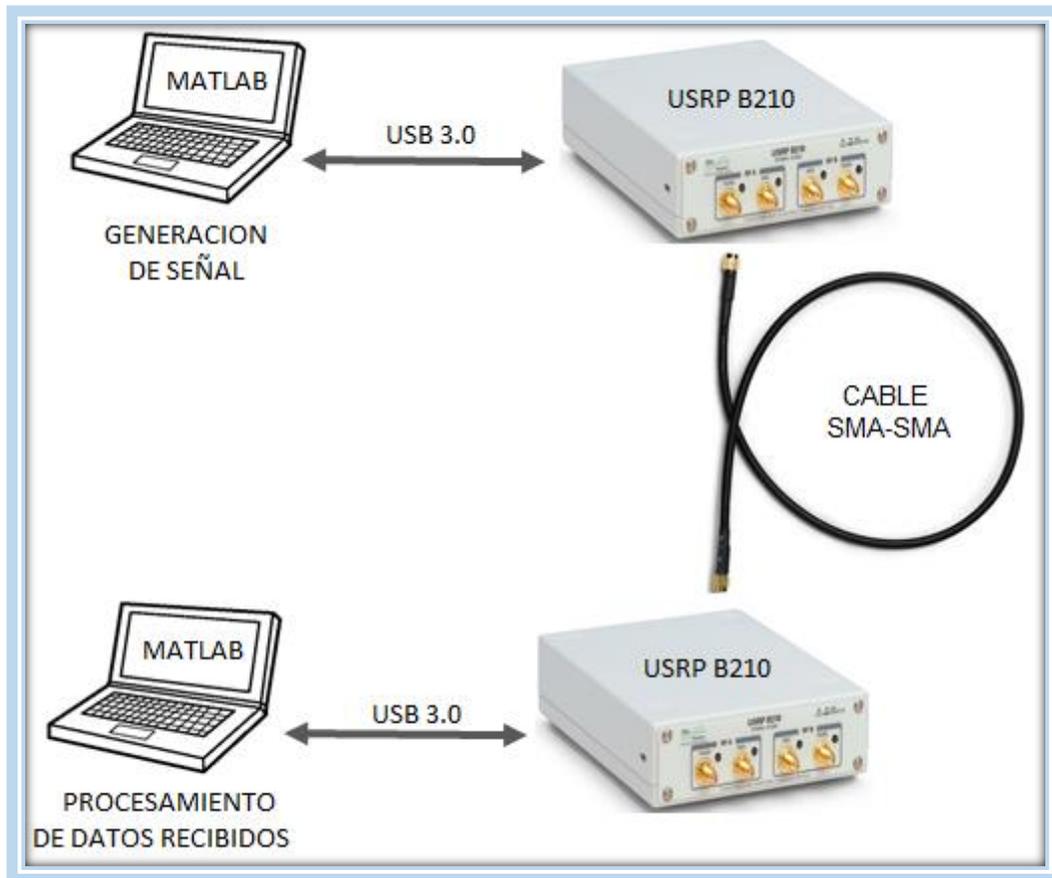


Figura 3-3: Modificaciones realizadas en el diseño propuesto
 Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

3.4. Construcción de cable SMA para simular distancia

Debido al cambio producido en el diseño por el problema descrito anteriormente fue necesario la elaboración de cables para conectar las USRP de transmisión y recepción ya que el cable proporcionado en los elementos adicionales de la tarjeta solo posee una longitud de 1m y esto no permitía realizar pruebas a una distancia mayor. Para la construcción de estos cables se utilizó cable coaxial RG-58 y conectores SMA macho cuyas características se muestran en la Tabla 1-3 y en la Tabla 2-3 respectivamente.

Tabla 1-3: Características del cable RG-58

Característica	Descripción
Rango de frecuencia	10 MHz-5GHz
Impedancia	50 Ω
Atenuación	4.59-196.85 dB/100m
Diámetro	4.95 mm
Peso	0.04Kg/m

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

Tabla 2-3: Características del conector SMA macho

Característica	Descripción
Tipo de Cable	RG58
Genero	Macho
Tipo de montaje	Montaje de cable
Impedancia	50 Ω
Frecuencia de trabajo	0-12.4 GHz
Forma	Recta
Tamaño	Subminiatura
Material del contacto	Latón

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

El procedimiento para la construcción de los cables es muy sencillo como se indicó se necesita el conector SMA macho mismo que está constituido por tres partes como se muestra en la Figura 4-3 y el coaxial RG58 que se muestra en la Figura 5-3.



Figura 4-3: Conector SMA macho
Fuente: <http://img-europe.electrocomponents.com>



Figura 5-3: Cable coaxial RG-58
Fuente: http://www.tot-radio.com/images/cable_rg-58.jpg

El conductor central del coaxial se conecta con la punta en forma de aguja del conector SMA para evitar la separación se procedió a soldar los mismos, la malla de recubrimiento del coaxial se debe colocar por encima del conector de rosca recubriendo la pequeña extensión que tiene en su parte posterior finalmente para asegurar se coloca la protección que debió ser previamente atravesado por el cable coaxial el proceso se repite con el otro extremo del cable cuya longitud variara dependiendo de la distancia que se desee simular el cable construido se puede apreciar en la Figura 6-3.



Figura 6-3: Cable construido para el sistema radar
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

3.5. Pruebas de funcionamiento del sistema radar

Una vez elaborados los cables para simular diferentes distancias se procedió a montar el sistema radar con todos sus componentes con el fin de realizar las pruebas y comprobar el correcto funcionamiento del diseño realizado en la Figura 7-3 se puede apreciar el sistema completado en su totalidad.

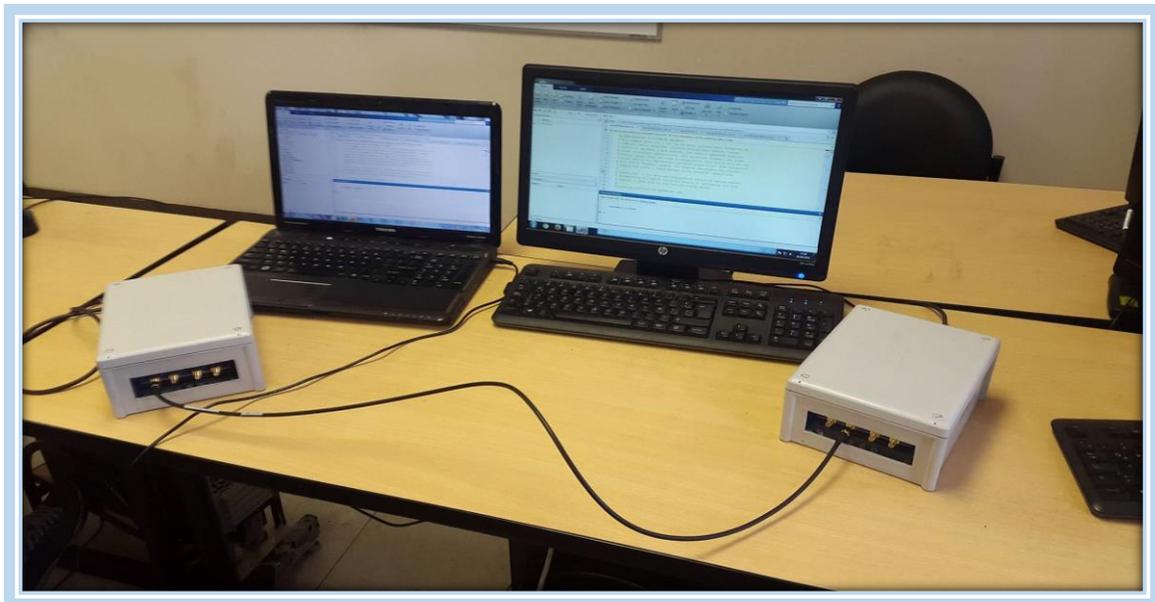


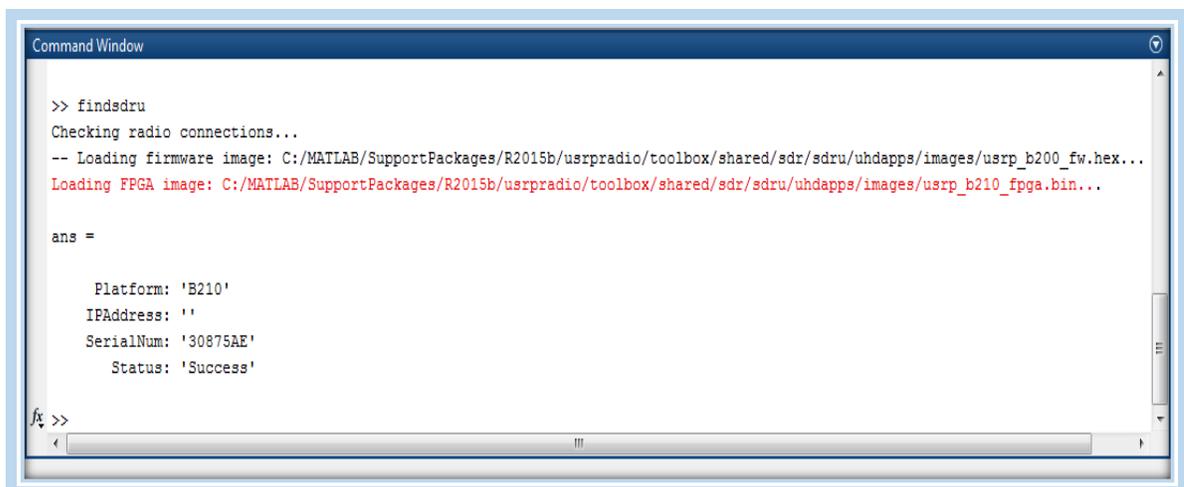
Figura 7-3: Sistema radar implementado
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

En la Figura 7-3 se puede apreciar las USRP conectadas a una computadora cada una mediante el cable USB en la parte izquierda de la imagen se ubica el transmisor y en la parte derecha el receptor el cable que la une las USRP representa la distancia existente dicho cable se encuentra conectado en un puerto de transmisión de la USRP y un puerto de recepción de la otra USRP del transmisor y receptor respectivamente

3.5.1. Pruebas de transmisión

Partiendo en orden con el modelo del diseño primero se presenta los resultados obtenidos en el proceso de transmisión.

Primero se procedió a comprobar la correcta comunicación entre PC y USRP este proceso y se indicó con anterioridad, en la Figura 8-3 se aprecia los resultados obtenidos.



```
Command Window

>> findsdru
Checking radio connections...
-- Loading firmware image: C:/MATLAB/SupportPackages/R2015b/usrpradio/toolbox/shared/sdr/sdru/uhdapps/images/usrp_b200_fw.hex...
Loading FPGA image: C:/MATLAB/SupportPackages/R2015b/usrpradio/toolbox/shared/sdr/sdru/uhdapps/images/usrp_b210_fpga.bin...

ans =

    Platform: 'B210'
    IPAddress: ''
    SerialNum: '30875AE'
    Status: 'Success'

fx >>
```

Figura 8-3: Comprobación de comunicación PC-USRP en transmisión
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

Después de comprobar la comunicación PC-USRP se procedió a iniciar el proceso de transmisión para lo cual dentro de Matlab se ejecuta la programación realizada una vez ejecutado se muestra los parámetros de transmisión configurados en la USRP como se aprecia en la Figura 9-3.

```

prmQPSKTransmitter =

    MasterClockRate: 20000000
        Fs: 200000
        Upsampling: 4
            Ts: 5.0000e-06
        FrameSize: 883
        BarkerLength: 13
        DataL: 1740
        MessageL: 1050
        FrameCount: 883
    RxBufferedFrames: 10
    RCFiltSpan: 10
    ScramblerBase: 2
    ScramblerPolynomial: [1 1 1 0 1]
    ScramblerInitialConditions: [0 0 0 0]
    SquareRootRaisedCosineFilterOrder: 40
        RollOff: 0.5000
    TransmitterFilterCoefficients: [1x41 double]
    USRPCenterFrequency: 1.8500e+09
        USRPGain: 25
    USRPInterpolationFactor: 100
        USRPFrameLength: 35320
        FrameTime: 0.1766
        StopTime: 1000

```

Figura 9-3: Parámetros configurados en la transmisión
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

Entre los parámetros mostrados se pueden destacar los siguientes que se muestran en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Parámetros del transmisor

Parámetro	Descripción
MasterClockRate	Indica la velocidad del reloj maestro en hercios para la conversión digital-analógico
MessageL	Especifica la longitud total en bits que se pueden transmitir hacia la USRP.
USRPCenterFrequency	Especifica la frecuencia central de la señal de salida desde el panel frontal RF de la USRP, es decir la frecuencia de transmisión (1.85 GHz)
USRPGain	Especifica la ganancia total, tanto analógicos como digitales de la USRP

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

A continuación de mostrarse los parámetros configurados comienza la transmisión de la señal. En la pantalla de Matlab se pueden observar los datos de la señal chirp en notación decimal mismos que serán transformados a bits para transmitirse a la USRP, cuando comience la transmisión se encenderá un led de color rojo en el puerto de transmisión elegido. En la Figura 10-3 se muestran los datos que componen la señal chirp.

```

Command Window
126 126 126 126 126 126 125 125 124 123 122 120 117 114 111 107 102 96 90 82 75 66 57 48 39
Columns 26 through 50
30 21 14 8 3 0 0 2 7 15 25 38 52 67 82 97 109 119 125 126 122 113 99 82 63
Columns 51 through 75
43 25 11 2 0 6 18 37 59 82 103 119 126 123 111 91 65 39 17 3 1 10 31 58 87
Columns 76 through 100
111 124 124 109 82 51 22 4 1 15 43 77 107 124 123 103 70 35 8 0 14 45 83 114 126
Columns 101 through 125
114 82 42 10 0 17 53 94 122 123 97 54 16 0 15 54 98 124 118 82 36 4 5 39 87
Columns 126 through 150
121 121 85 36 3 8 48 98 125 111 64 16 1 29 82 122 118 73 20 0 29 84 123 114 63
fx
  
```

Figura 10-3: Datos transmitidos
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

3.5.2. Proceso de Recepción

Una vez transmitidos los datos el receptor comienza a recibir la señal por medio del puerto de recepción de la USRP. A continuación se muestran los resultados obtenidos en el proceso de recepción. Primero se procedió de la misma forma que el transmisor comprobar la comunicación entre la computadora y la USRP como se observa en la Figura 11-3.

```

>> findsdr
Checking radio connections...
Loading FPGA image: C:/MATLAB/SupportPackages/R2015b/usrpradio/toolbox/shared/sdr/sdru/uhdapps/images/usrp_b210_fpga.bin..
ans =

    Platform: 'B210'
    IPAddress: ''
    SerialNum: '307B63D'
    Status: 'Success'

>>
  
```

Figura 11-3: Comprobación de la comunicación PC-USRP en recepción
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

Una vez comprobada la comunicación PC-USRP se procede a ejecutar el código realizado en Matlab. Cabe recalcar que el proceso de comprobación de comunicación PC-USRP tanto en el transmisor como en el receptor se lo realiza previo a ejecutar la programación de Matlab ya que la transmisión y la recepción se ejecutan al mismo tiempo.

Al ejecutar la programación se muestran los parámetros configurados en la USRP para que se realice la recepción de la señal, dichos parámetros son similares a los descritos en proceso de recepción en el caso de la recepción el MaterClockRate será la velocidad del reloj con la que se realice la conversión Analógico-Digital, la USRPCenterFrequency será la misma para que se puedan recibir los datos, la USRPGain será mayor debido a que puede existir atenuación de la señal mientras esta viaja a través del cable. Los parámetros configurados se pueden apreciar en la Figura 12-3.

```
prmQPSKReceiver =  
  
    MasterClockRate: 20000000  
           Fs: 200000  
           M: 4  
    Upsampling: 4  
    Downsampling: 2  
           Ts: 5.0000e-06  
    FrameSize: 883  
    BarkerLength: 13  
           DataL: 1740  
    MessageL: 1050  
    FrameCount: 883  
    ScramblerBase: 2  
    ScramblerPolynomial: [1 1 1 0 1]  
    ScramblerInitialConditions: [0 0 0 0]  
    RxBufferedFrames: 10  
           RCFiltSpan: 10  
SquareRootRaisedCosineFilterOrder: 40  
           RollOff: 0.5000  
    ReceiverFilterCoefficients: [1x41 double]  
    PhaseErrorDetectorGain: 2.0000  
    PhaseRecoveryGain: 1  
    TimingErrorDetectorGain: 5.4000  
    TimingRecoveryGain: -1  
    CoarseCompFrequencyResolution: 50  
    PhaseRecoveryLoopBandwidth: 0.0100  
    PhaseRecoveryDampingFactor: 1  
    TimingRecoveryLoopBandwidth: 0.0100  
    TimingRecoveryDampingFactor: 1  
           USRPCenterFrequency: 1.8500e+09  
           USRPGain: 31  
    USRPDecimationFactor: 100  
    USRPFrontEndSampleRate: 5.0000e-06  
    USRPFrameLength: 35320  
           FrameTime: 0.1766  
           StopTime: 1
```

Figura 12-3: Parámetros configurados en el receptor
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

Posteriormente se pueden observar los datos que recibe la USRP que deben ser los mismos que fueron transmitidos, cuando comienza la recepción se encenderá un led verde en el puerto de recepción usado. En la Figura 13-3 se pueden observar dichos datos, antes de que se reciban los datos transmitidos se recibirán datos diferentes los mismos que serán considerados como el retraso de la señal al viajar a través de cable coaxial.

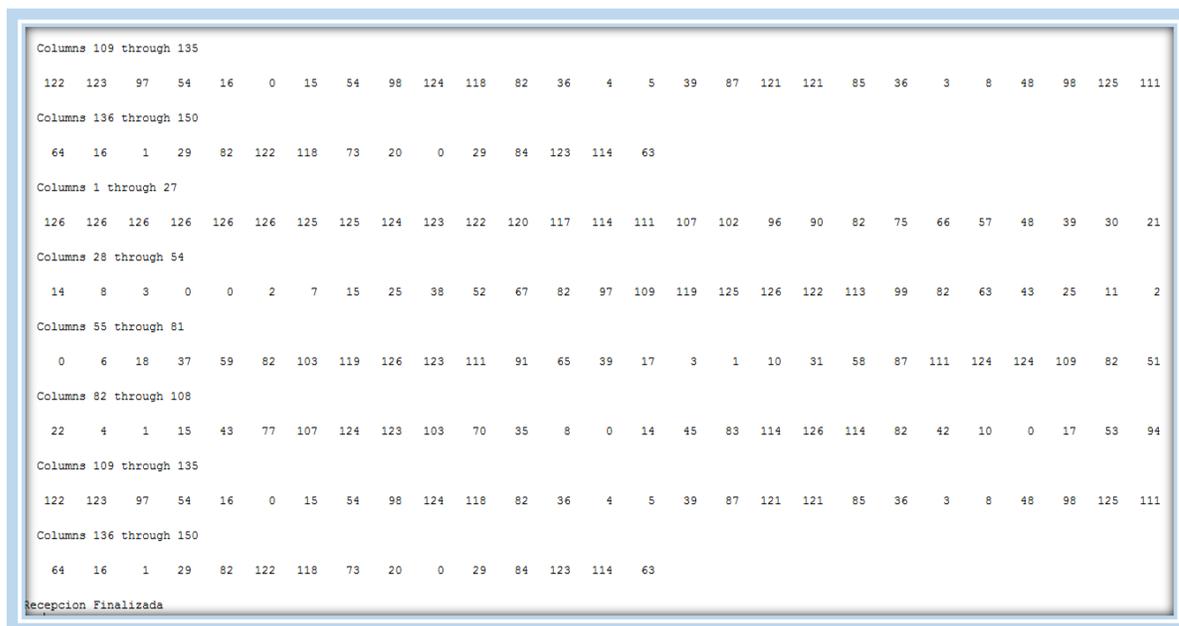


Figura 13-3: Datos recibidos por el receptor
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

3.6. Procesamiento de la señal recibida

Como se indicó en el capítulo anterior la señal recibida debe ser procesada para estimar la distancia existente entre transmisor y receptor para lo cual se realizaron pruebas con los cables construidos los mismos que tienen dimensiones de 1m, 5m, 10m.

3.6.1. Pruebas realizadas a 1m

Se conectó el transmisor y el receptor mediante un cable de longitud igual a 1m obteniendo los siguientes resultados.

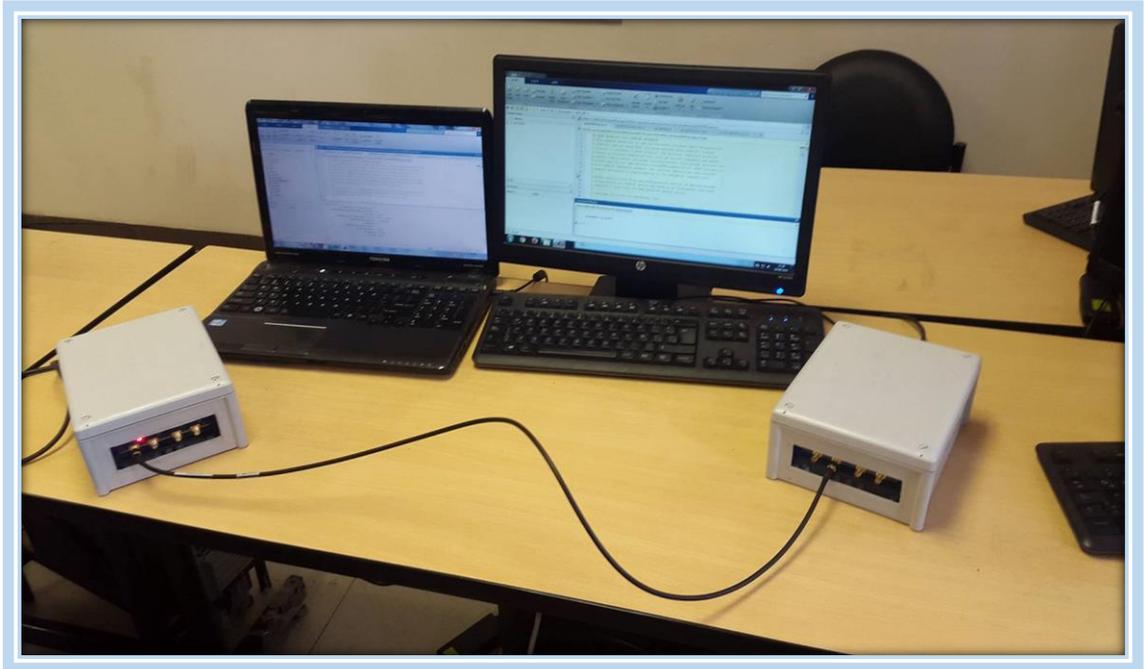


Figura 14-3: Sistema conectado con el cable de 1m
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

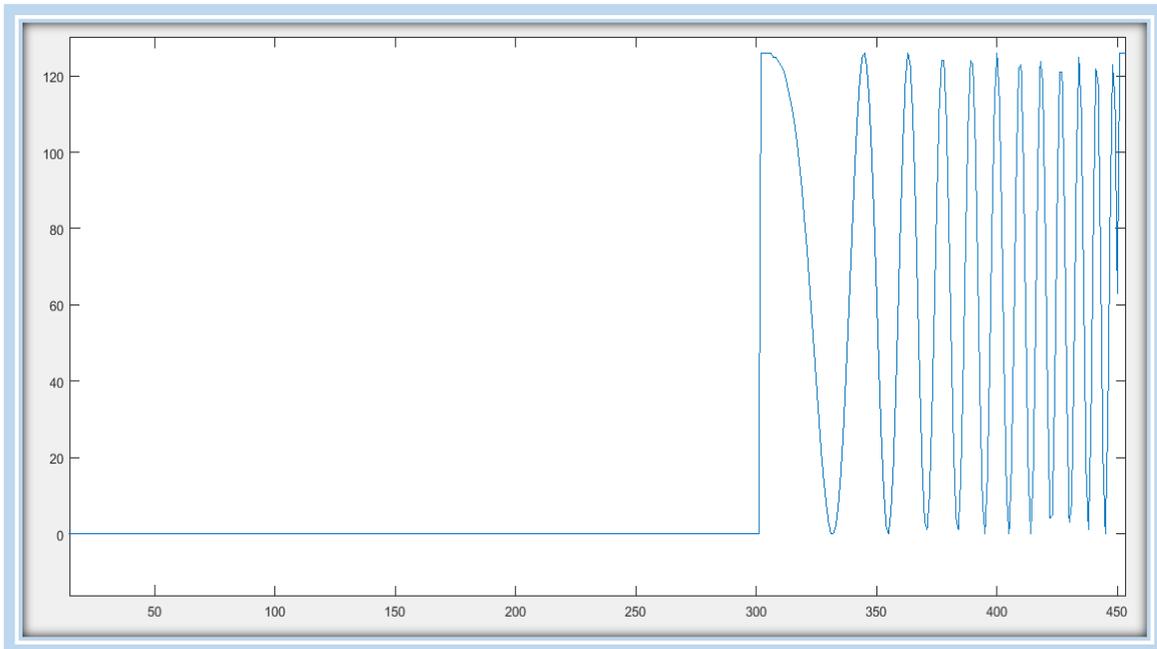


Figura 15-3: Señal recibida con el cable de 1m
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

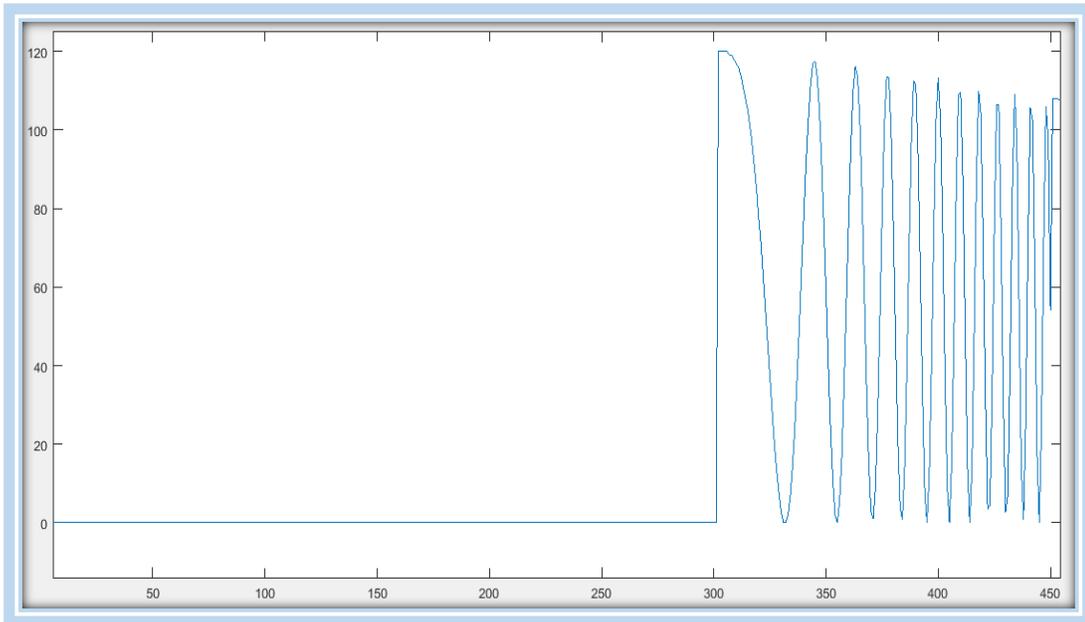


Figura 16-3: Multiplicación de la señal original y la señal recibida con el cable de 1m
 Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

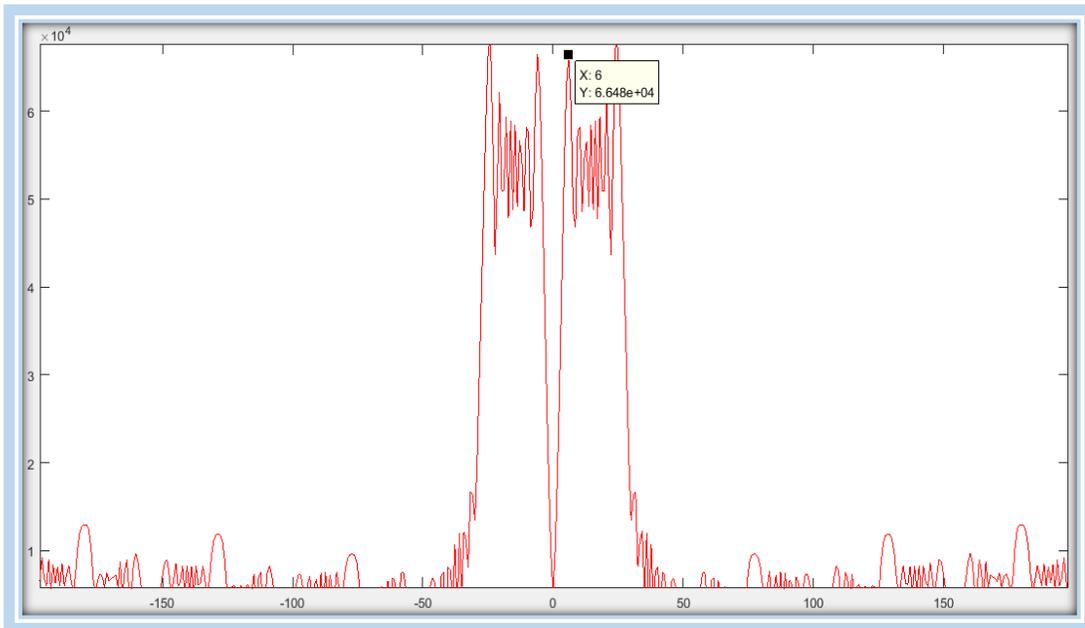


Figura 17-3: Transformada de Fourier de los resultados a 1m
 Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

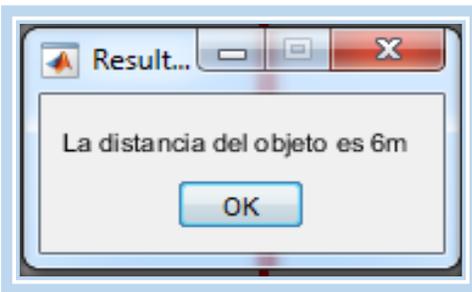


Figura 18-3: Mensaje mostrado con las pruebas a 1m
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

3.6.2. Pruebas realizadas a 5m

Al contar el sistema con el cable de 5m se obtuvieron los mismos resultados obtenidos con el cable de 1m

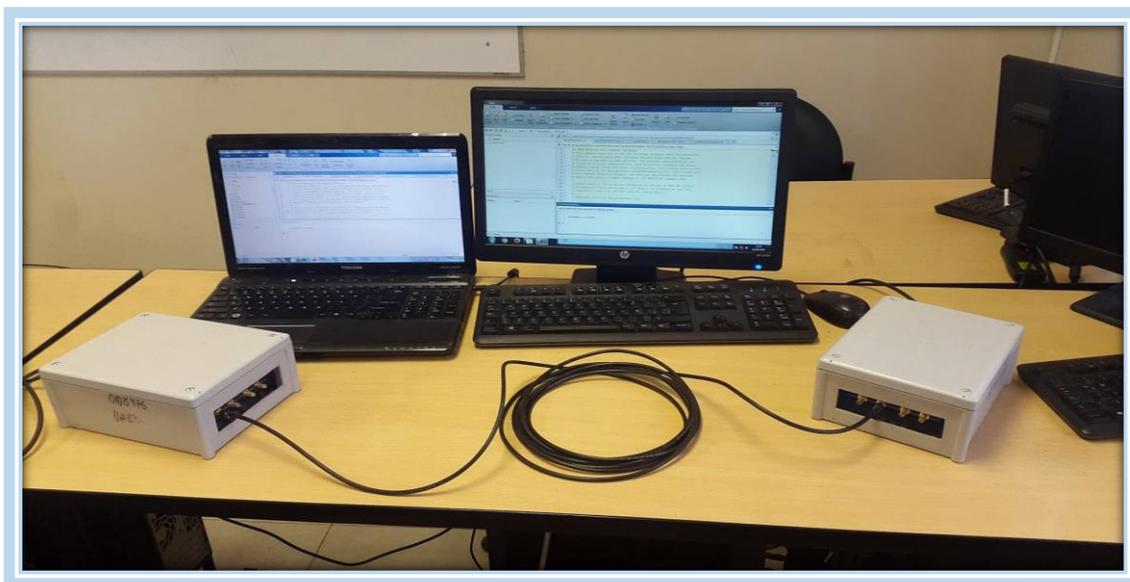


Figura 19-3: Sistema conectado con el cable de 5m
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

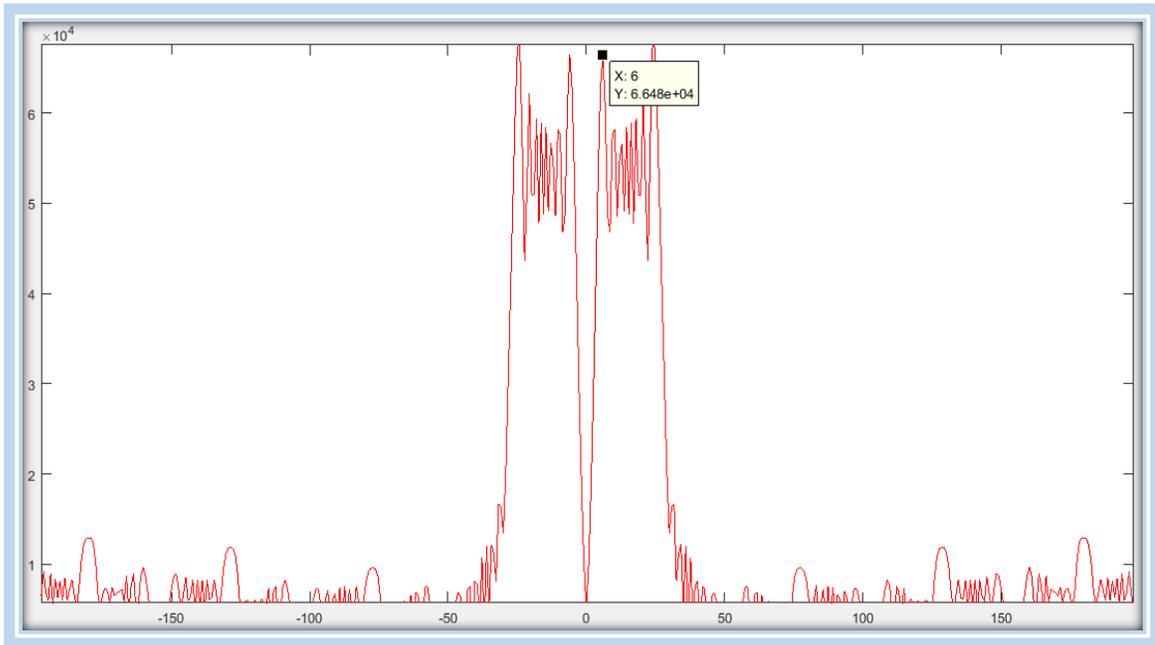


Figura 20-3: Transformada de Fourier de los resultados a 5m
 Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

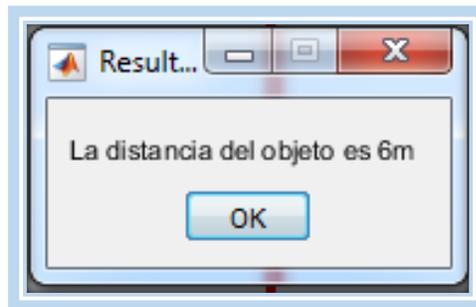


Figura 21-3: Mensaje mostrado con las pruebas a 5m
 Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

3.6.3. Pruebas realizadas a 10 m

Continuando con las pruebas se conectó el sistema con un cable de 10m de longitud obteniendo los resultados que se muestran a continuación.

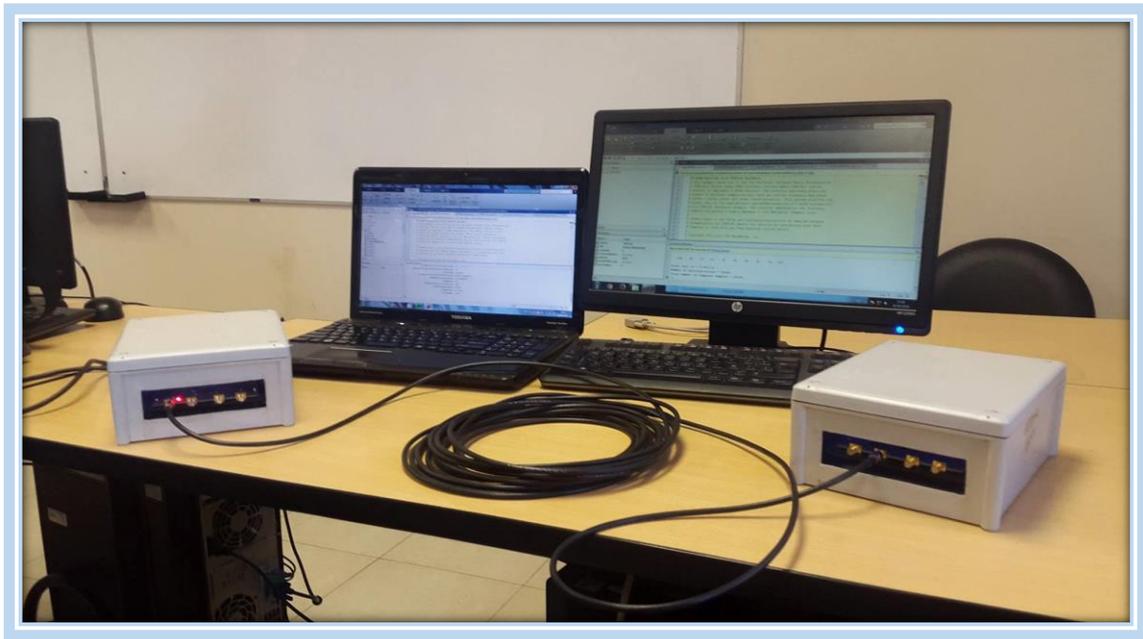


Figura 22-3: Sistema conectado con el cable de 10m
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

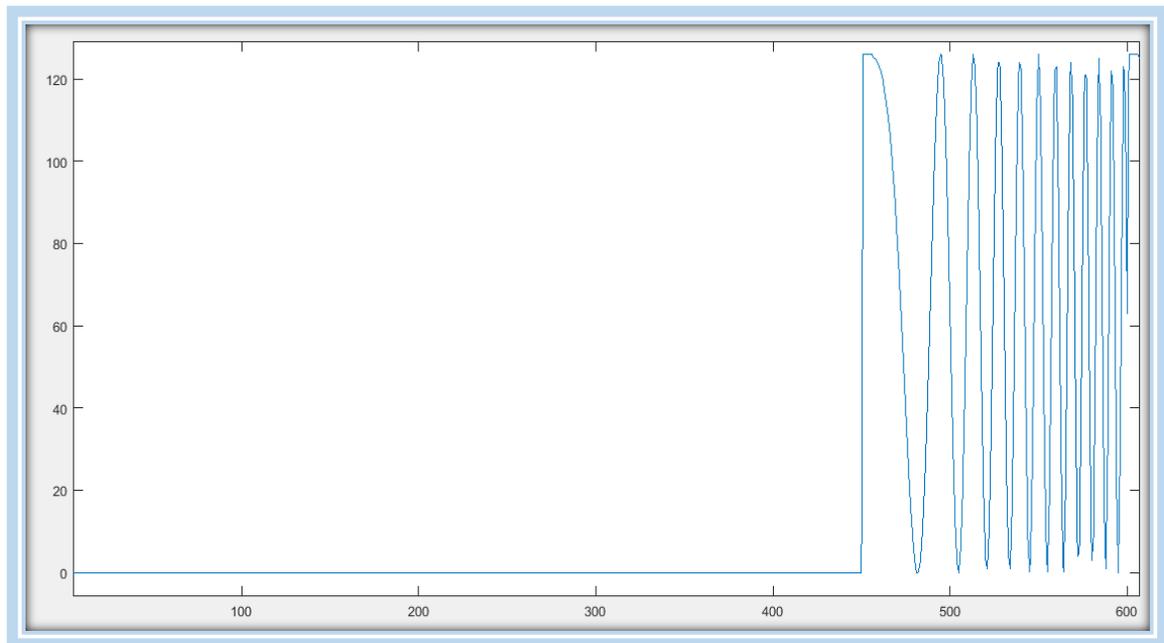


Figura 23-3: Señal recibida con el cable de 10m
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

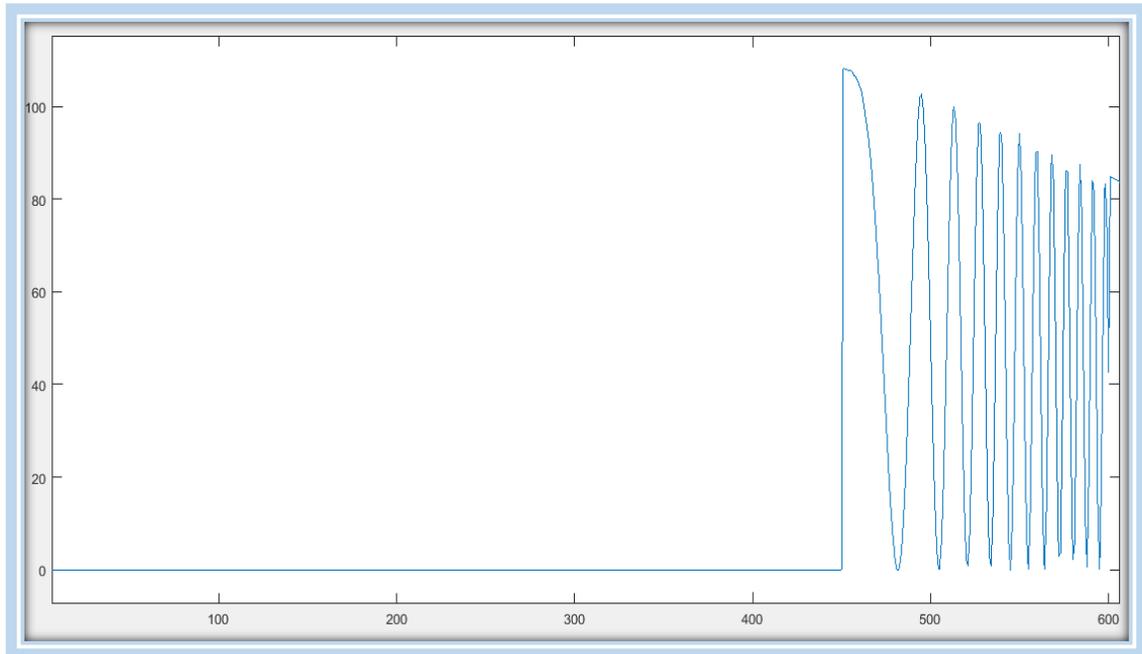


Figura 24-3: Multiplicación de la señal original y la señal recibida con el cable de 10m
 Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

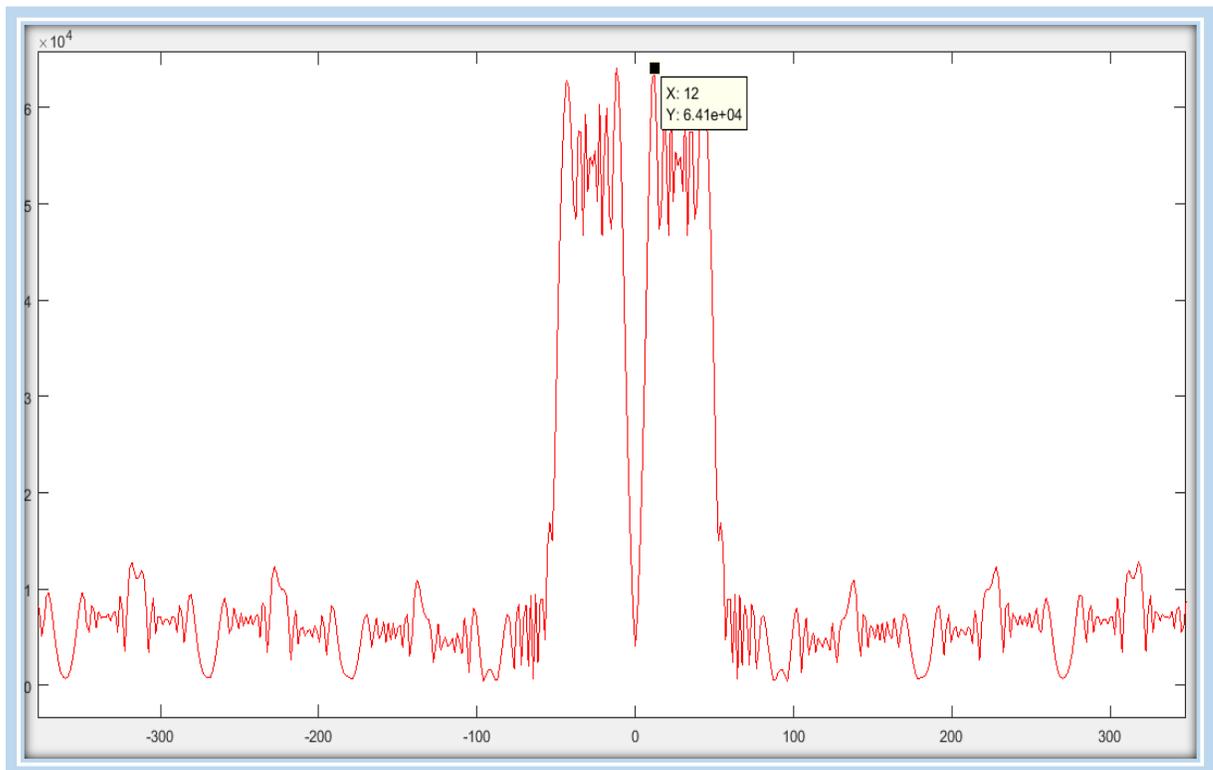


Figura 25-3: Transformada de Fourier de los resultados a 10m
 Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

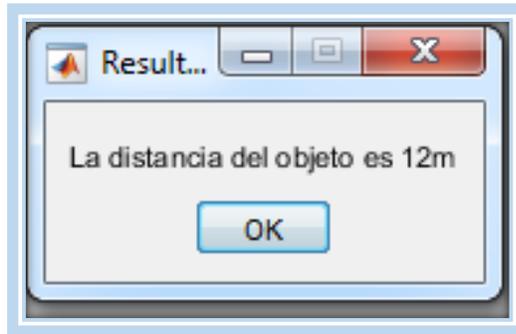


Figura 26-3: Mensaje mostrado con las pruebas a 10 m
Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

3.7. Ancho de banda de la USRP y resolución del radar

La resolución del radar hace referencia a la capacidad que tiene para distinguir entre blancos que se encuentran cercanos e rango o en el mismo rumbo. También se puede decir que la resolución hace referencia a la distancia mínima que debe existir entre dos blancos para ser identificados como blancos diferentes y no como un solo blanco.

Para obtener la resolución de un radar se puede transmitir un pulso de corta duración, la resolución que resulta cuando se transmite el pulso de una duración muy corta (T_p) está dada por la ecuación 1-3.

$$\Delta R = \frac{cT_p}{2} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

El resultado se mide en metros. De donde c es la velocidad de la luz por lo tanto mientras menor sea la duración del pulso se obtendrá una mejor resolución en el radar. Para lograr una buena resolución se pueden usar pulsos muy largos modulados en frecuencia como lo hacen los radares FMCW que es el tipo de radar implementado.

Para calcular la resolución de un radar FMCW se puede usar una simple aproximación en donde el ancho de banda del radar es aproximadamente a $\frac{1}{T_p}$ como indica la ecuación 2-3.

$$B = \frac{1}{T_p} \quad \text{Ecuación 2-3.}$$

Tomando en cuenta esta aproximación la resolución del radar queda expresada por la ecuación 3-3.

$$\Delta R = \frac{c}{2B} \quad \text{Ecuación 3-3.}$$

La velocidad máxima que puede alcanzar la USRP B210 es de 50 Mbits/s ya que la USRP funciona con muestras complejas es decir con componentes I/Q de la señal el ancho de banda de la USRP es igual a 25 MHz.

Remplazando los valores en la ecuación 3-3.

$$\Delta R = \frac{3 * 10^8}{2 * (25 * 10^6)}$$

$$\Delta R = 6 \text{ m}$$

Por lo tanto para que el sistema radar implementado pueda distinguir entre blancos diferentes estos deben estar a una distancia de 6m entre sí lo que explicaría que los resultados obtenidos se muestren con valores múltiplos de 6 y además que los resultados obtenidos en las pruebas de 1m y 5m sean los mismos. De acuerdo a la resolución que posee el sistema radar implementado con la USRP B210, las pruebas realizadas y además de acuerdo a otros trabajos consultados como por ejemplo el realizada en la universidad de la Calambria de Italia “ COSTANZO, Sandra, et al. Potentialities of USRP-based software defined radar systems. Progress in Electromagnetics Research B, 2013.”, se puede hacer una aproximación a una distancia ayor a 12m por lo tanto el funcionamiento del radar se puede expresar como se indica en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Resolución del sistema radar implementado

Distancia del blanco (m)	Distancia dada por el software (m)
$d > 0$ y $d \leq 6$	6
$d > 6$ y $d \leq 12$	12
$d > 12$ y $d \leq 18$	18

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016
Fuente: COSTANZO, S, 2013, p. 15

El sistema radar implementado puede ser usado para varias aplicaciones entre las cuales tenemos las aplicaciones topográficas, ya que contando con la suficiente potencia y las antenas adecuadas se puede radiar las señales de radio hacia un perfil topográfico y recoger los datos de diferentes puntos para finalmente lograr una gráfica del perfil.

3.8. Análisis económico del Trabajo de Titulación

Para la Realización del presente trabajo de titulación se emplearon los elementos que se detallan a continuación en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3: Costo del Trabajo de Titulación

Nº	ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO FINAL (USD)
1	USRP B210	2	EEUU 1800.00 ECUADOR 3000.00	6000.00
2	CABLE COAXIAL RG58	20 m	0.90/m	18.00
3	CONECTORES SMA MACHO	10	2.00	20.00
4	OTROS		30	30
	TOTAL			6068.00

Realizado por: MERCHÁN, C, 2016

CONCLUSIONES

Con la ayuda de dos USRP B210 y dos computadoras con el software Matlab se pudo implementar un sistema radar con una resolución de 6m esto debido al ancho de banda que posee la tarjeta. Se realizaron pruebas a diferentes distancias para comprobar su funcionamiento y demostrar la resolución del sistema. Aunque en el sistema originalmente se propuso el uso de antenas esto debió ser modificado debido a que no se obtuvo la suficiente potencia requerida para que las antenas emitan la señal de radio hacia el espacio, para solucionar este problema se usaron cables que al final cumplieron con el objetivo planteado.

La utilización de la tarjeta USRP B210 permite reducir la cantidad de hardware que requiere el sistema, ya que la USRP realiza las funciones de transmisión y recepción que por lo general hacen uso de varios componentes para llevar a cabo todas las operaciones de radiofrecuencia necesarias para lograr su objetivo. Todas estas operaciones se llevan a cabo internamente dentro de la USRP gracias a los componentes electrónicos de alta capacidad que posee para su funcionamiento eficiente y de alta velocidad.

La modulación en los radares de onda continua permiten simplificar el análisis de las señales recibidos ya que gracias a la modulación se tiene una referencia temporal, además este tipo de radares son muy usados ya que gracias a la variación en su frecuencia no solo se puede detectar la distancia de los objetos si no que adicionalmente se puede detectar la velocidad a la que se mueve.

Gracias a la realización de este trabajo se pudo experimentar el trabajar con las tarjetas USRP que es una tecnología que tiene una gran acogida a nivel mundial debido a las facilidades que presenta en su manipulación y funcionamiento. Para su uso simplemente se necesita un sistema computarizado para su control y además se puede configurar mediante software lo que le brinda la ventaja de ser reconfigurable. Los proyectos realizados con las USRP se pueden modificar un sin fin de veces abriendo caminos a la realización de nuevos proyectos a partir de trabajos previamente realizados.

Para la configuración de las USRP se usó el software Matlab. Este software tiene un lenguaje de programación de alto nivel además ofrece una amplia gama de herramientas que simplifican el desarrollo de los sistemas de radio mediante las USRP ya que se acopla perfectamente a esta tecnología.

RECOMENDACIONES

Aunque la ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO posee las tarjetas USRP lamentablemente los estudiantes no se relacionan en su totalidad con esta tecnología que como se menciona tiene una gran aceptación a nivel mundial, por lo cual es recomendable que esta tecnología sea socializada entre los estudiantes de la escuela a lo largo de los diferentes niveles para despertar el interés en la manipulación de las tarjetas y de esta forma apreciar las ventajas que ofrecen las mismas.

Si bien Matlab presenta ofrece facilidades para el desarrollo de los sistemas de radio con USRP también es un lenguaje programación que desde cierto punto de vista es un poco complejo para su uso debido a la gran cantidad de funciones que trae incorporado debido a esto es aconsejable ampliar el conocimiento en su manejo no solo en el ámbito de la programación tradicional que por lo general es la se ofrece en las universidades también es necesario el estudio de Matlab en el ámbito de la ingeniería en este caso en el análisis y procesamiento de señales, aunque su estudio parezca complicado el conocimiento acerca de la programación en este software es de gran ayuda para el desarrollo de los sistemas como el que se presenta en este trabajo.

Hacer uso de las tarjetas USRP no solo para el desarrollo de sistemas radar si no ampliar sus usos en los diferentes ámbitos de las telecomunicaciones como por ejemplo la transmisión de TV, hoy en día la TV digital está remplazando a la televisión analógica lo que sería una oportunidad de experimentar la transmisión de TV digital con el uso de esta tecnología, también se puede usar para la difusión celular, wifi y radiofrecuencia en general siempre y cuando las aplicaciones se encuentren dentro de las capacidades de las tarjetas.

Además de Matlab también experimentar la manipulación de las USRP mediante otro software como GNU RADIO que es un software de distribución libre ofreciendo esa ventaja sobre Matlab que es un software licenciado. Al hacer uso de GNU RADIO también se experimentaría el trabajar en un sistema operativo bajo Linux que al ser de libre distribución permite que los desarrolladores oferten mayor soporte a los usuarios que apenas inician en la manipulación de las tarjetas.

El trabajo expuesto puede ser mejorado al darle solución a la falta de potencia que se presentó en el desarrollo del radar o al incorporar antenas de mayor ganancia lo que permitiría experimentar el comportamiento del sistema radar en un área abierta.

GLOSARIO

API	Application Programming Interface (Interfaz de Programación de Aplicaciones)
FFT	Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier)
RADAR	Radio Detection And Ranging (Detección y medición de distancias por radio)
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
UHF	Ultra High Frequency (Frecuencia Ultra Alta)
VHF	Very High Frequency (Muy Alta Frecuencia)
USB	Universal Serial Bus
BANDA C	Frecuencias entre 3,7 y 4,2 GHz y desde 5,9 hasta 6,4 GHz.
BANDA K	Banda de frecuencias entre 20 y 40 GHz
BANDA Ku	(Kurz-unten band) rango de las microondas desde 12 GHz a los 18 GHz
BANDA Ka	Opera entre los 26,5 Ghz y 40 GHz
BANDA S	Rango frecuencial desde 1,5 GHz a 5,2 GHz
USRP	Universal Software Radio Peripheral
SDR	Software Defined Radio (Radio Definida por software)
PSR	Primary Surveillance Radar
SSR	Secondary Surveillance Radar
FM	Frecuencia Modulada
FM-CW	Frequency-Modulated Continuous-Wave (Onda Continua Modulada en Frecuencia)
ALS	Escáner Laser Aerotransportado
GPR	Radar de Penetracion Terrestre
LNA	Low Noise Amplifier (Amplificador de Bajo Ruido)
Tx	Transmisor
Rx	Receptor
FPGA	Field Programmable Gate Array
UHD	USRP Hardware Driver
SMA	SubMiniature version A

BIBLIOGRAFÍA

ALDAZ SANTANA, Luis Hernán. *Análisis y estudio de la simulación de los parámetros del radar en el programa MATLAB* [en línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador. 2005. pp. 1-2. [Consulta: 25 mayo 2016]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/4077/T-ESPEL-0106.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ÁLVAREZ, René & SHAGÑAY, Sandra. *Sistema Radar Para Análisis Y Reconstrucción De Perfiles Topográficos A Media Escala.* (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica, Telecomunicaciones y Redes. Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 21-40.

ANGULO ORQUERA, Hugo Andrés; PAREDES CALDERÓN, Darwin Manolo. *Diseño y desarrollo de un radio definido por software, para el ejército ecuatoriano, mediante la utilización de una tarjeta USRP y la herramienta simulink de Matlab* [en línea] (Tesis Pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. 2011. pp. 25-34. [Consulta: 25 junio 2016]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/4526/T-ESPE-032707.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ARGENTINA, CABLES EPUYEN SRL. Coaxial RG 58/U - 50 OHMS [en línea]. [Consulta: 17 agosto 2016]. Disponible en: <http://epuyen.com.ar/es/producto/coaxial-rg-58u-50-ohms-densidad-95-esta%C3%B1ado-sin-esta%C3%B1ar>

BALANIS, C. *Antenna Theory*, 3^a. Ed, New Jersey- Estados Unidos: Editorial Wiley, 2005, pp. 27-40.

BARBERÁN, Jeneffer & DOMÍNGUEZ, Rodrigo. *Sistema Radar para Reconstrucción de Objetos 3d Mediante la Utilización del Dispositivo Kinect* (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica, Telecomunicaciones y Redes. Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 17-19.

BASSEM, Mahafza. Analysis and Design using Matlab. 3a ed. Alabama-Estados Unidos. CRC Press. 2013. pp. 1-20. [Consulta: 15 mayo 2016]. Disponible en:
http://staff.on.br/puxiu/MatLab_Pack/Radar%20Systems%20Analysis%20and%20Design%20Using%20MatLab%20-%20Mahafza%20Bassem%20R.pdf

CANELO, César; QUIÑONES, Walter . *Diseño e implementación de un sistema de radar estático de corto alcance de onda continua en frecuencia modulada para mediciones de rango y velocidad* [en línea] (Tesis Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima, Perú. 2015. pp. 14-22. [Consulta: 29 septiembre 2016]. Disponible en:
<http://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/handle/123456789/5985>

COSTANZO, Sandra; et.al. “Potentialities of USRP Based Software Defined Radar Systems”. *Progress in Electromagnetism Research B* [en línea], 2013, Vol. 53, pp. 417-435. [Consulta: 28 mayo 2016]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/257393279_Potentialities_of_USRP-based_software_defined_radar_systems

ESTADOS UNIDOS, ETTUS RESEARCH. LP0965 Antenna [en línea].
[Consulta: 07 julio 2016]. Disponible en:
<https://www.ettus.com/product/details/LP0965>

ESTADOS UNIDOS, ETTUS RESEARCH. SMA-SMA Cable [en línea].
[Consulta: 07 julio 2016]. Disponible en:
<https://www.ettus.com/product/details/SMA-SMA>

ESTADOS UNIDOS, ETTUS RESEARCH. Enclosure Kit for USRP B200/B210 [en línea].
[Consulta: 09 julio 2016]. Disponible en:
<https://www.ettus.com/product/details/USRP-B200-Enclosure>

ESTADOS UNIDOS, ETTUS RESEARCH. USRP B210 Information Sheet [en línea].
[Consulta: 08 julio 2016]. Disponible en:
https://www.ettus.com/content/files/b200-b210_spec_sheet.pdf

ESTADOS UNIDOS, PASTERNAK ENTERPRISES. Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded with Black PVC (NC) Jacket [en línea]. [Consulta: 10 julio 2016]. Disponible en: <https://www.pasternack.com/images/productpdf/rg58c-u.pdf>

GAIBOR M & JAMI E, 2016. *Diseño y Desarrollo de un Algoritmo de Predicción de Armónicos e Intermodulaciones en la Banda de Radiodifusión Fm, en Riobamba* (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 38-40.

GARCÍA GÓMEZ, David; et.al. “Implementación y configuración de un receptor de radio definido por software (SDR) para estudios de propagación”, [en línea]. 2012. [Consulta: 25 junio 2016]. Disponible en: http://oa.upm.es/22874/1/INVE_MEM_2012_153627.pdf

GARCIA, J; et.al. *Aprenda Matlab 4.2 como si estuviera en primero* [en línea], 1997. [Consulta: 14 mayo 2016]. Disponible en: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Informat1/AyudaInf/aprendainf/Matlab42/matlab42.pdf>

GUTIÉRREZ, Carlos & NIETO, Ángel. *Teledetección: nociones y aplicaciones* [en línea]. Editado por Carlos Perez, Universidad de Salamanca, Salamanca, España. 2006. pp. 1-12. [Consulta: 29 abril 2016]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=SfrGxbO1DT0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=GUTI%C3%89RREZ,+Carlos+P%C3%A9rez%3B+NIETO,+%C3%81ngel+Luis+Mu%C3%B1oz.+Tele+detecci%C3%B3n:+nociones+y+aplicaciones.+carlos+perez,+2006&ots=pDlGZy7jDS&sig=eY6tjC9tmNUY02GrUIYmOdcDdEQ#v=onepage&q&f=false>

KRISHNAN, Sudarsan. *Modeling and simulation analysis of an FMCW radar for measuring snow thickness* [en línea] (Tesis). (Doctorado) University of Kansas, Kansas, Estados Unidos. 2000. pp. 9. [Consulta: 17 mayo 2016]. Disponible en: https://fiasco.ittc.ku.edu/research/thesis/documents/sudarsan_krishnan_thesis.pdf

LARA, Raúl & OLIVARES, Santiago. *Tecnología de radar aplicada a la detección oportuna de cáncer de mama* [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería en

Electrónica y Comunicaciones zona Poza Rica-Tuxpan, Veracruz, México. 2013. pp. 31-42.
[Consulta: 22 julio 2016]. Disponible en:
<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/40329/1/larajimenezraul.pdf>

LIAÑO CUQUERELLA, Ramón. *Fabricación y puesta en marcha de un radar FMCW de bajo coste en banda S* [en línea] (Tesis). (Doctoral) Universidad de Vigo, Centro Universitario de la Defensa, ENM, Pontevedra, España. 2015. pp. 13-16. [Consulta: 27 mayo 2016]. Disponible en:
<http://calderon.cud.uvigo.es/bitstream/11621/36/3/TFG%20Lia%C3%B1o%20Cuquerella.pdf>

MONTERO HIDALGO, Juan Pablo. *Implementación de un sistema de comunicaciones basado en Software Radio* [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España. 2014. pp. 24-27. [Consulta: 22 julio 2016]. Disponible en:
<http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20140130JuanPabloMonteroHidalgo.pdf>

MOORE, Holly. *MATLAB para ingenieros*, México: Pearson, 2007, pp. 135-180.

ONDAS Y RANGOS DE FRECUENCIA [en línea].

[Consulta: 20 abril 2016]. Disponible en:
<http://www.radartutorial.eu/07.waves/pic/radarfrequencies.print.png>

PAMIES PORRAS, Mariano Javier. *Estudio y desarrollo de un sistema radar para el seguimiento de blancos* [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia. 2008. pp. 3. [Consulta: 21 de 2016]. Disponible en:
<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/840/pfc2712.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PARRISH, Kristen. “An overview of FMCW systems in MATLAB. EE 383V Radar Principles”. *Term Project, University of Texas*, [en línea], 2010. [Consulta: 17 mayo 2016]. Disponible en:
<http://www.researchgate.net/publication/260286270>

PINAR DOMINGUEZ, Iván & MURILLO FUENTES, Juan José. *Laboratorio de Comunicaciones Digitales Radio Definida por Software* [en línea]. Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 2011. pp. 11-27. [Consulta: 19 mayo 2016]. Disponible en:

<http://docplayer.es/12938116-Laboratorio-de-comunicaciones-digitales-radio-definida-por-software.html>

QUIROZ TERREROS, Juan Francisco. *Emulador de un sistema de comunicaciones utilizando tecnología SDR* [en línea] (Tesis Pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Carrera de Ingeniería en Electrónica Redes y Comunicación de Datos, Sangolquí, Ecuador.2010. pp. 1-12. [Consulta: 19 mayo 2016]. Disponible en:

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/911/T-ESPE-029253.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ROGGERO, Marco; ZHAO, John; ZUCHELLI, Giorgia. “Design of FMCW Radars for Active Safety Applications”. *En Embedded World Conference* [en línea], 2015. [Consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en:

http://www.mathworks.com/tagteam/82814_Design_of_FMCW_Radars_for_Active_Safety_Applications.pdf

REINO UNIDO, RS COMPONENTS INTERNATIONAL. Conectores RF [en línea]. [Consulta: 15 agosto 2016]. Disponible en:

<http://es.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=conectores-industriales&file=Conectores-RF-Conectores-SMA.html>

SANCHEZ, Roberto. Técnicas Algorítmicas para Cancelación de Ruido en Imágenes Radar [en línea]. (Tesis). (Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Computación. Maestría en Ciencias en Ingeniería de Computo Distrito Federal-México. 2007. pp. 4-8. [Consulta: 20 abril 2016]. Disponible en:

<http://www.saber.cic.ipn.mx/cake/SABERsvn/trunk/Repositorios/webVerArchivo/409/2>

SANFUENTES, Jorge Parker. “Historia del radar”. *Revista de Marina–Armada de Chile* [en línea], 2000, (Santiago-Chile), 2000, no 1, pp. 1-7. [Consulta: 22 abril 2016]. Disponible en:

<http://revistamarina.cl/revistas/2000/1/parker.pdf>

SUÁREZ MONSALVE, Javier Mauricio & TRIANA GALEANO, Vivian Paola. *Diseño del Manual de Prácticas para un Laboratorio de Comunicaciones Digitales Basado En la Técnica de Radio Definido por Software* [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Industrial de Santander,

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia. 2012. pp. 55. [Consulta: 28 septiembre 2016]. Disponible en:

<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/3584/2/145274.pdf>

TAMELLINI, Patrick. *MATLAB: Interfaces Gráficas de Usuario destinadas al estudio de señales radar y GNSS* [en línea] (Tesis Pregrado). Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, España. 2011. Pp. 51-54. [Consulta: 20 abril 2016]. Disponible en:

<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/8212/1/ptamelliniTFC0611.pdf>

TOMASI, Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónica*, 4ª ed. México: Pearson educación, 2003, pp. 51-60

TORRES, Marco & VACA, Cristian. *Sistema embebido de comunicación digital de voz utilizando periféricos de radio universal USRP-E110* [en línea] (Tesis). (Doctoral). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Sangolquí, Ecuador. 2014. pp. 12-20. [Consulta: 28 septiembre 2016]. Disponible en:

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/9623>

VARGAS GONZÁLEZ, Daniel. *Detección de movimiento mediante técnicas radar CW-FM en banda W* [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. 2014. pp. 1-4. [Consulta: 29 junio 2016]. Disponible en:

<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21313/deteccion%20de%20movimiento%20mediante%20tecnicas%20radar%20CWFM%20en%20banda%20W.pdf?sequence=4>

VEGA RODRÍGUEZ, Jorge Gabriel. *Análisis de la sincronización de la trama de datos en la modulación OFDM utilizando radio definido por software* (Tesis Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Carrera de Ingeniería En Electrónica y Comunicaciones, Ambato, Ecuador. 2015. pp. 43.

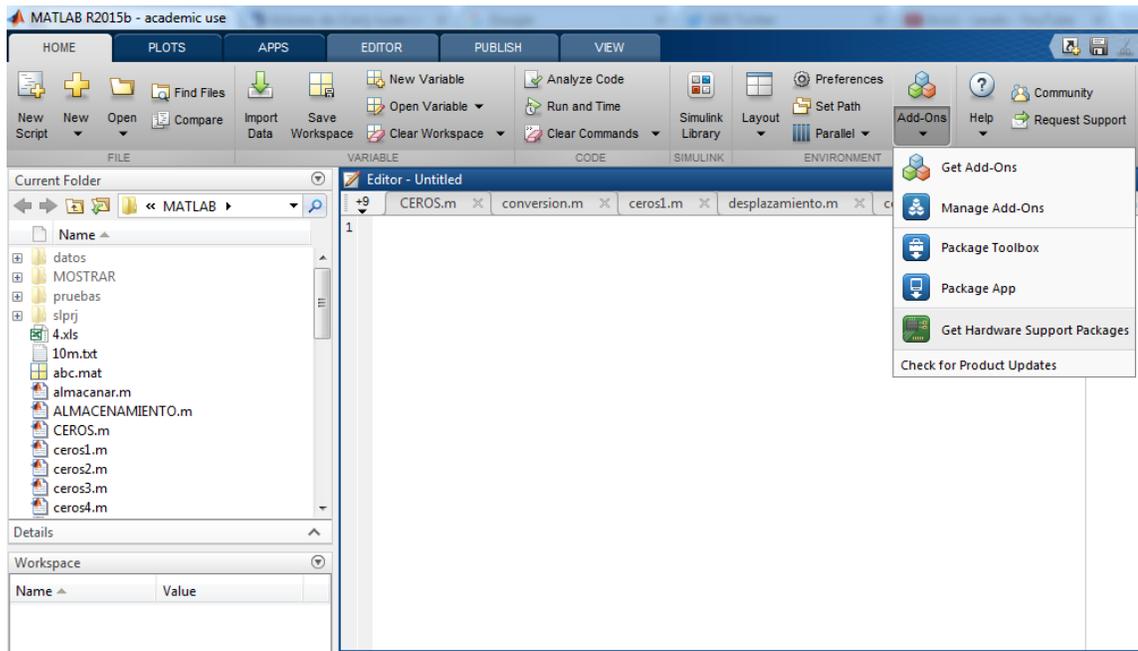
ZHU, Yanfang. *Radar en Banda W (94 GHz) para aplicaciones meteorológicas* [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona, Barcelona, España. 2015. pp. 11. [Consulta: 29 mayo 2016]. Disponible en:

<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/77689/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

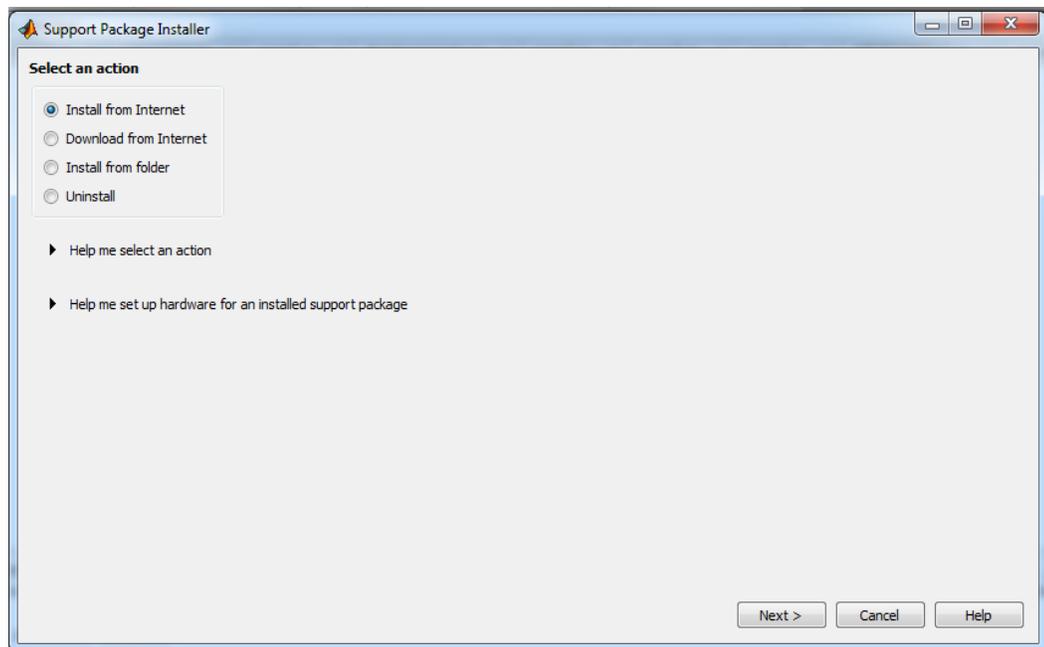
ANEXOS

ANEXO A. Instalación del paquete USRP-Radio desde Matlab

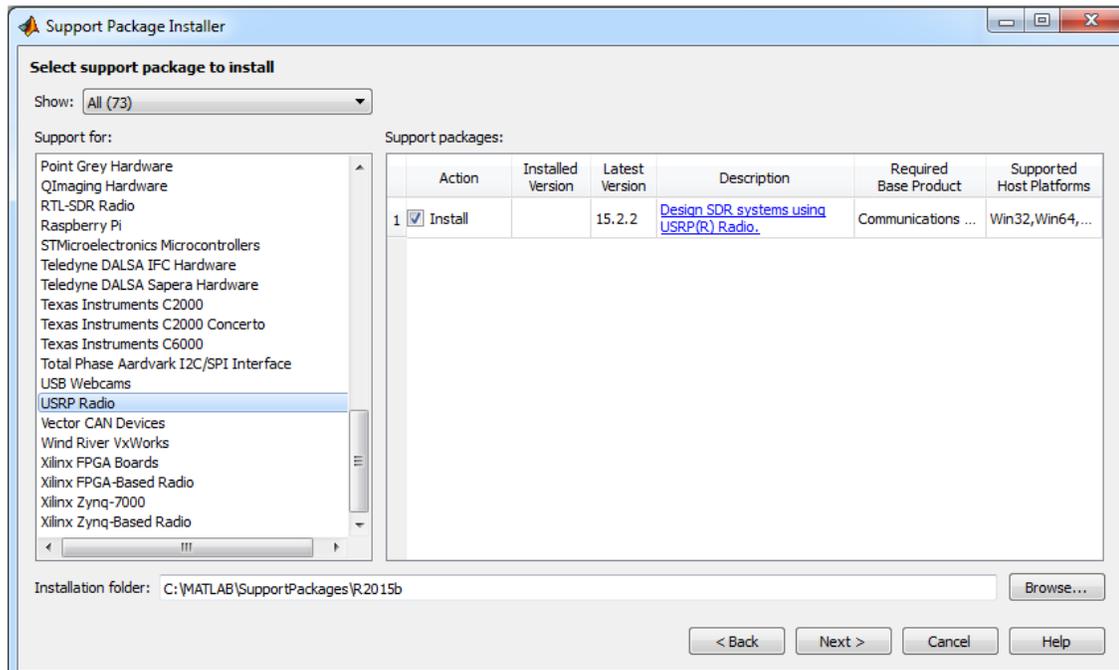
Dentro de Matlab dirigirse a Add Ons y elegir la última opción



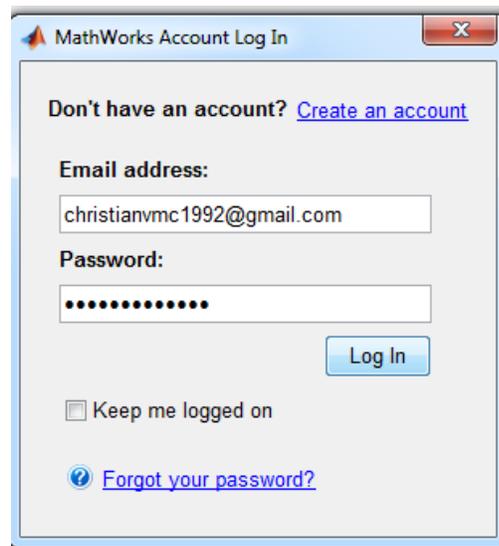
Después se abre la ventana de instalación, aquí elegir Install from Internet



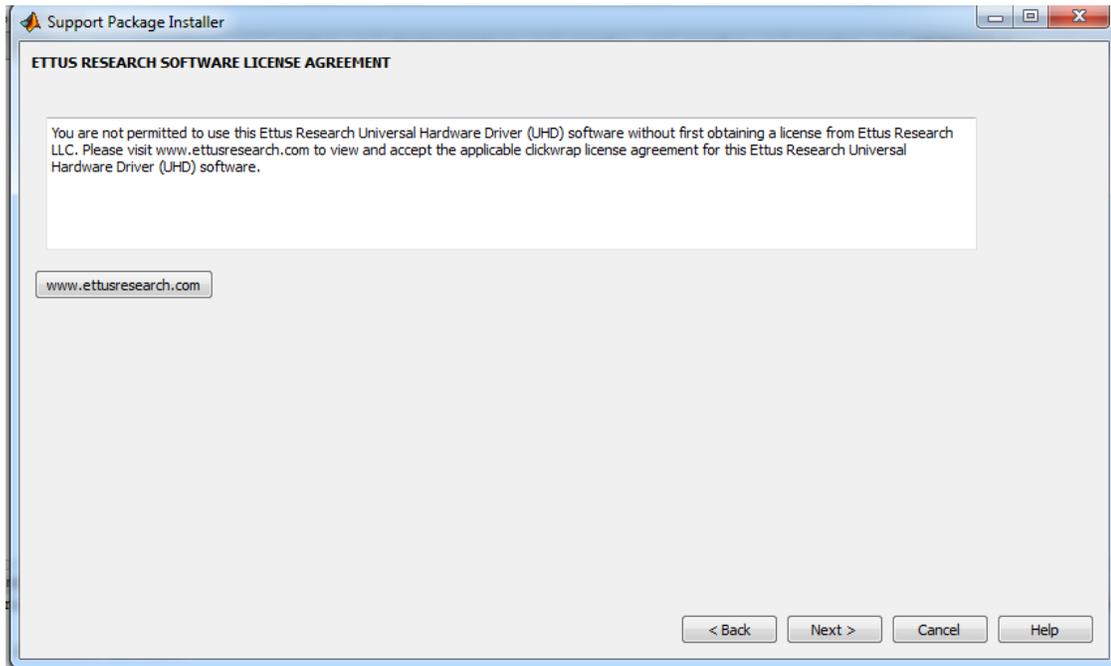
Elegir USRP Radio



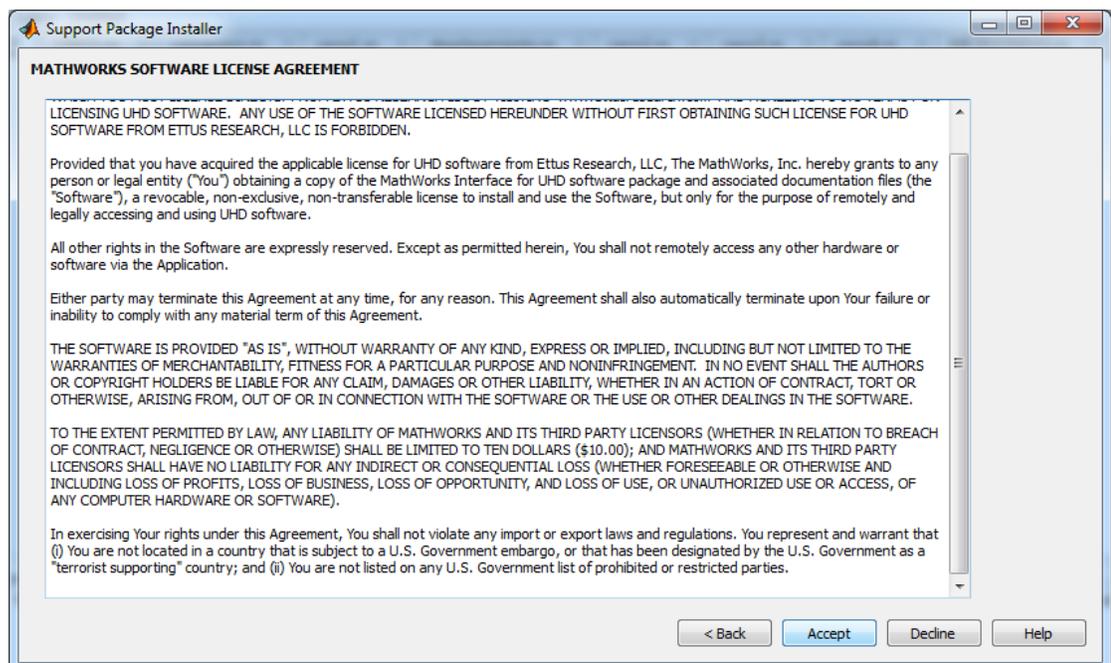
Para continuar es necesario poseer una cuenta en Mathworks



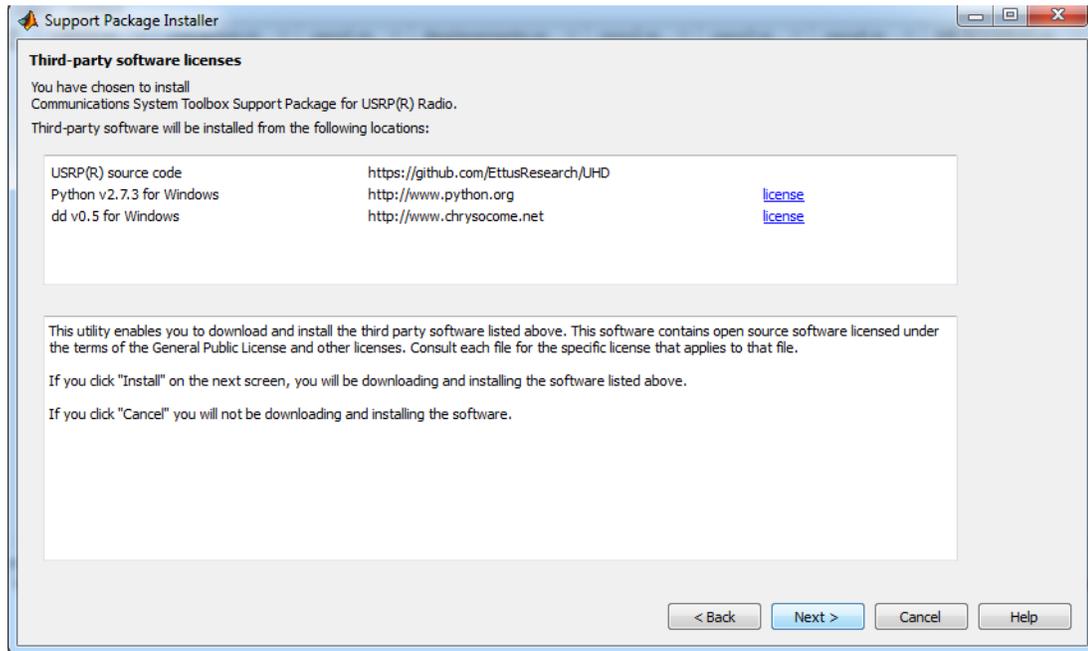
Una vez ingresada la cuenta aparecerá otra ventana dar en siguiente



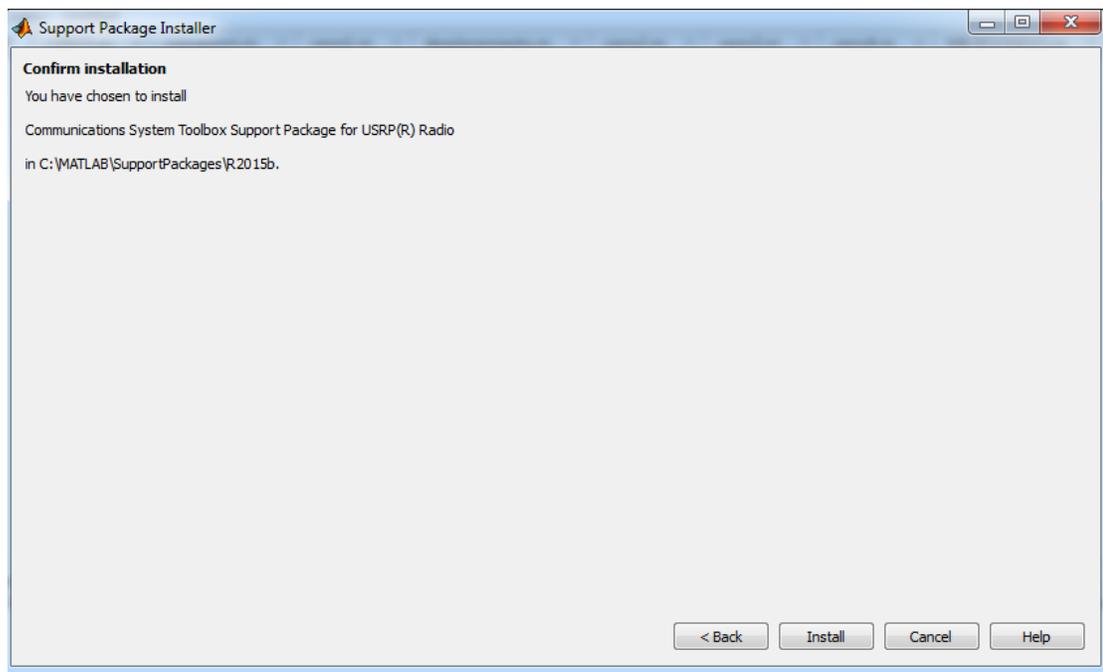
Aceptar el contrato de licencia



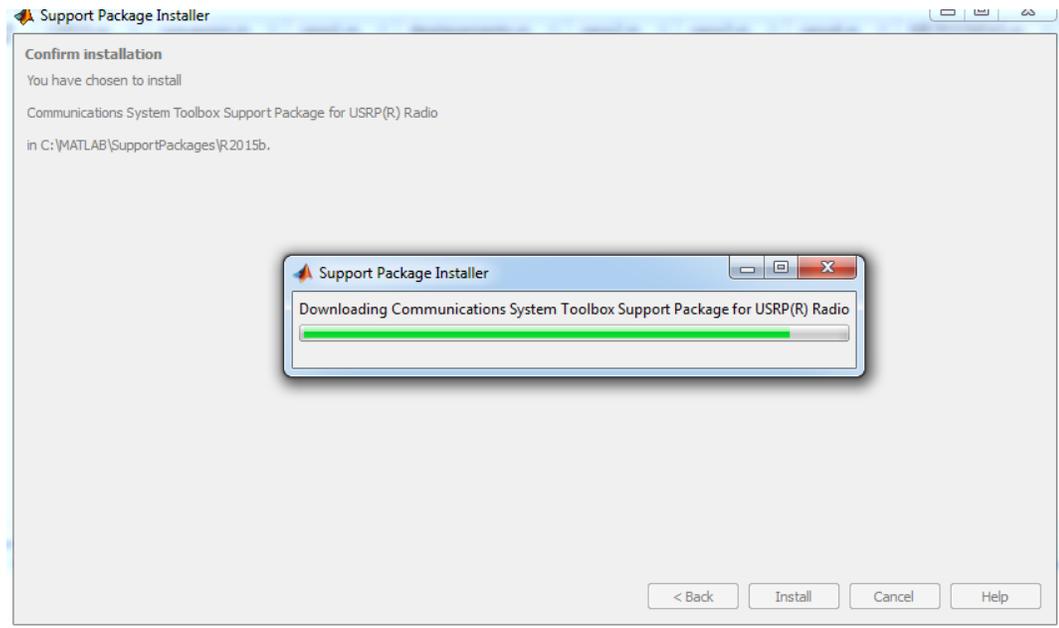
Dar en siguiente



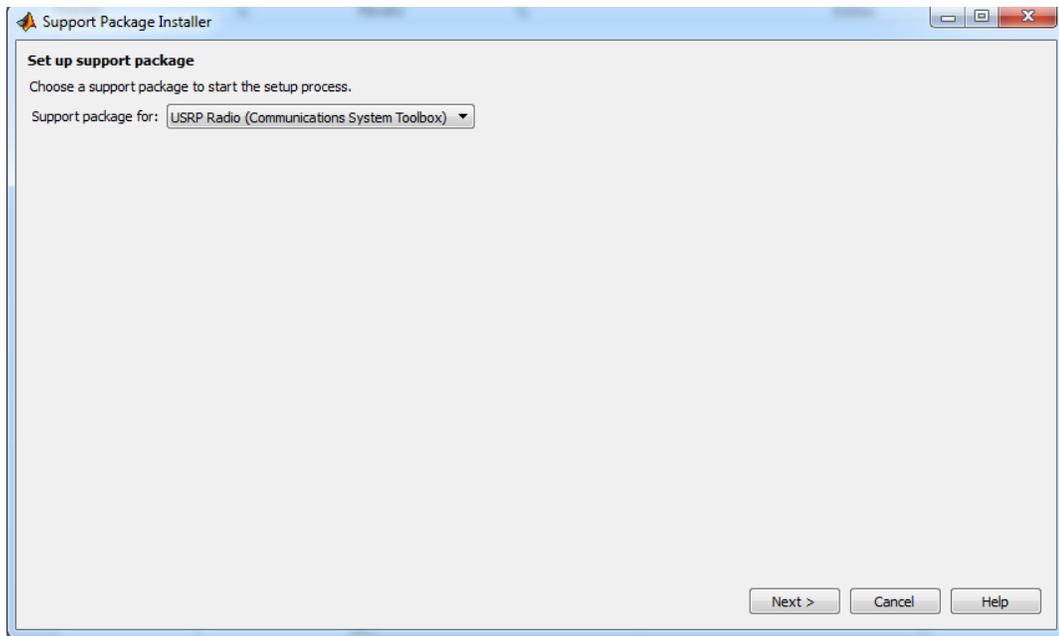
Dar en Instalar



Esperar a que se instale

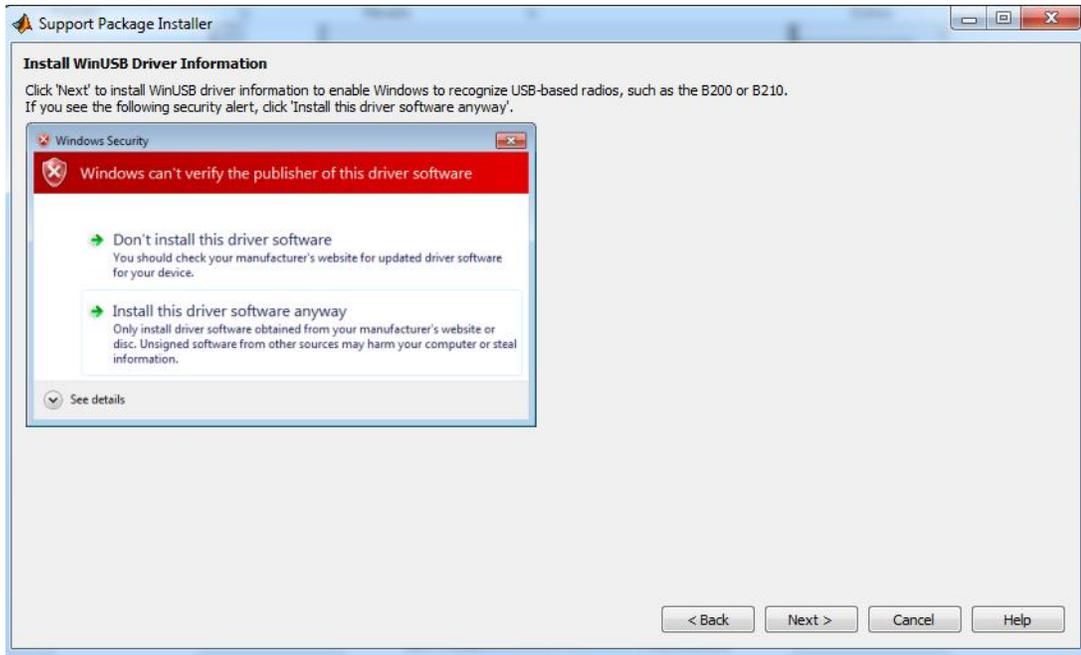


Dar en siguiente

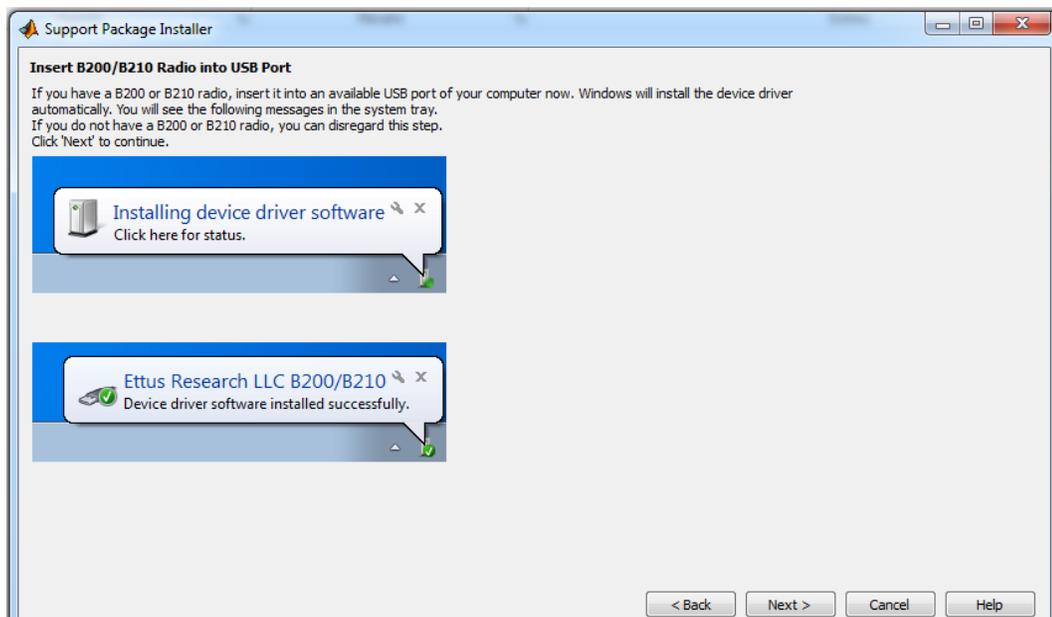


Para este paso es necesario tener la USRP conectada a la PC

Permitir que el software desconocido se instale



Esperar a que el driver se instale y dar en Finalizar



ANEXO B. Datasheet USRP B210.



USRP™ B200/B210 Bus Series

FEATURES

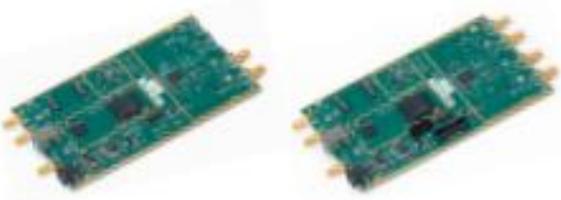
- RF coverage from 70 MHz – 6 GHz
- GNU Radio, C++ and Python APIs
- USB 3.0 SuperSpeed interface
- Standard-B USB 3.0 connector
- Flexible rate 12 bit ADC/DAC
- Grounded mounting holes

USRP B200

- 1 TX & 1 RX, Half or Full Duplex
- Xilinx Spartan 6 XC6SLX75 FPGA
- Up to 56 MHz of instantaneous bandwidth
- USB Bus powered

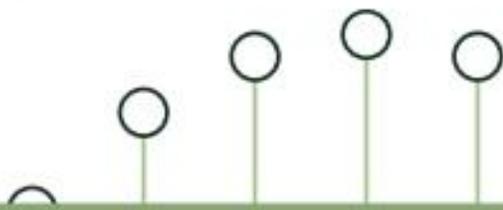
USRP B210

- 2 TX & 2 RX, Half or Full Duplex
- Fully-coherent 2x2 MIMO capability
- Xilinx Spartan 6 XC6SLX150 FPGA
- Up to 56 MHz of instantaneous bandwidth in 1x1
- Up to 30.72 MHz of instantaneous bandwidth in 2x2
- Includes DC power supply
- GPIO capability



USRP B200/B210 Product Overview

The USRP B200 and B210 hardware covers RF frequencies from 70MHz to 6 GHz, has a Spartan6 FPGA, and USB 3.0 connectivity. This platform enables experimentation with a wide range of signals including FM and TV broadcast, cellular, Wi-Fi, and more. The USRP B200 features one receive and one transmit channel in a bus-powered design. The USRP B210 extends the capabilities of the B200 by offering a total of two receive and two transmit channels, incorporates a larger FPGA, GPIO, and includes an external power supply. Both use an Analog Devices RFIC to deliver a cost-effective RF experimentation platform, and can stream up to 56 MHz of instantaneous bandwidth over a high-bandwidth USB 3.0 bus on select USB 3.0 chipsets (with backward compatibility to USB 2.0). Because the B200 and B210 are enabled with our USRP Hardware Driver™ (UHD), users can develop their applications and seamlessly port their designs to high-performance or embedded USRPs such as the USRP X310 or USRP E310. UHD is an open-source, cross-platform driver that can run on Windows, Linux, and MacOS. It provides a common API, which is used by several software frameworks, such as GNU Radio. With this software support, users can collaborate with a vibrant community of enthusiasts, students, and professionals that have adopted USRP products for their development. As a member of this community, users can find assistance for application development, share knowledge to further SDR technology, and contribute their own innovations.





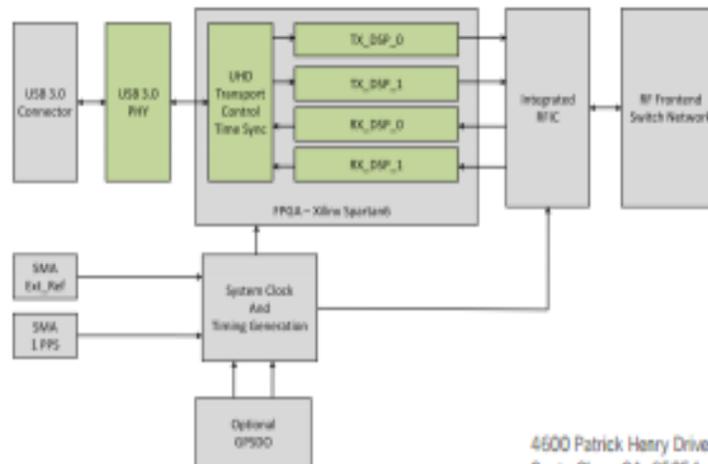
USRP™ B200/B210 Bus Series

Spec	Typ.	Unit
Power		
DC Input	6	V
Conversion Performance and Clocks		
ADC Sample Rate (max)	61.44	MS/s
ADC Resolution	12	bits
ADC Wideband SFDR	78	dBc
DAC Sample Rate (max)	61.44	MS/s
DAC Resolution	12	bits
Host Sample Rate (16b) **	61.44	MS/s
Frequency Accuracy	±2.0	ppm
W/ GPS Unlocked TCXO Reference	±75	ppb
W/ GPS Locked TCXO Reference	< 1	ppb

Spec	Typ.	Unit
RF Performance (single channel)		
SSB/LO Suppression	-35/50	dBc
3.5 GHz	1.0	deg RMS
6 GHz	1.5	deg RMS
Power Output	>10	dBm
IIP3 (@ typ NF)	-20	dBm
Receive Noise Figure	<8	dB
Physical		
Dimensions	9.7x15.5x1.5	cm
Weight	350	g

*All specifications are subject to change without notice.

** See benchmark results for sample rates in various configurations.



About Ettus Research

Ettus Research is an innovative provider of software defined radio hardware, including the original Universal Software Radio Peripheral (USRP) family of products. Ettus Research is a leader in the GNU Radio open-source community, and enables users worldwide to address a wide range of research, industry and defense applications. The company was founded in 2004 and is based in Santa Clara, California. As of 2010, Ettus Research is a wholly owned subsidiary of National Instruments.

4600 Patrick Henry Drive
Santa Clara, CA 95054

P 408.610.6399 www.ettus.com
F 866.807.9801



ANEXO C. Datasheet Cable coaxial RG58.



Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded
with Black PVC (NC) Jacket

RF Cables Technical Data Sheet

RG58C/U

Configuration

- Flexible Cable
- 1 Shield(s)

Electrical Specifications

Description	Minimum	Typical	Maximum	Units
Frequency Range	DC		5	GHz
Impedance		50		Ohms
Velocity of Propagation		65.9		%
Shielding Effectiveness	45			dB
Operating Voltage (AC)			1,000	Vrms
Nominal Capacitance		30.8 [101.05]		pF/ft [pF/m]

Performance by Frequency Band

Description	F1	F2	F3	F4	F5	Units
Frequency	0.01	0.1	1	5		GHz
Attenuation, Typ	1.4	4.9	20	60		dB/100ft
	4.59	16.08	65.62	196.85		dB/100m
Input Power (CW), Max	650	170	44	15		Watts

Mechanical Specifications

Diameter	0.195 in [4.95 mm]
Weight	0.025 lbs/ft [0.04 Kg/m]
Min. Bend Radius (Installation)	0.98 in [24.89 mm]
Min. Bend Radius (Repeated)	1.95 in [49.78 mm]

Construction Specifications

Description	Material and Plating	Diameter
Inner Conductor	Copper, Tin, 19 Strands	0.036 in [0.91 mm]
Dielectric	PE	0.116 in [2.95 mm]
First Shield	Tinned Copper Braid	

Click the following link (or enter part number in "SEARCH" on website) to obtain additional part information including price, inventory and certifications: [Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded with Black PVC \(NC\) Jacket RG58C/U](#)

Pasternack Enterprises, Inc. • P.O. Box 16759, Irvine, CA 92623
Phone: (888) 727-8378 or (949) 261-1920 • Fax: (949) 261-7451
Sales@Pasternack.com • Techsupport@Pasternack.com

ISO 9001:2008 Registered





Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded
with Black PVC (NC) Jacket

RF Cables Technical Data Sheet

RG58C/U

Jacket	PVC (NC), Black	0.195 in [4.95 mm]
--------	-----------------	--------------------

Environmental Specifications

Temperature Operating Range	-40 to 80 deg C
--------------------------------	-----------------

Compliance Certifications (visit www.Pasternack.com for current document)

RoHS Compliant	
REACH Compliant	12/17/2014

Plotted and Other Data

Notes:

Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded with Black PVC (NC) Jacket from Pasternack Enterprises has same day shipment for domestic and International orders. Our RF, microwave and millimeter wave products maintain a 99% availability and are part of the broadest selection in the industry.

Click the following link (or enter part number in "SEARCH" on website) to obtain additional part information including price, inventory and certifications: [Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded with Black PVC \(NC\) Jacket RG58C/U](#)

URL: <http://www.pasternack.com/flexible-0.195-rg58-50-ohm-coax-cable-pvc-jacket-rg58c-u-p.aspx>

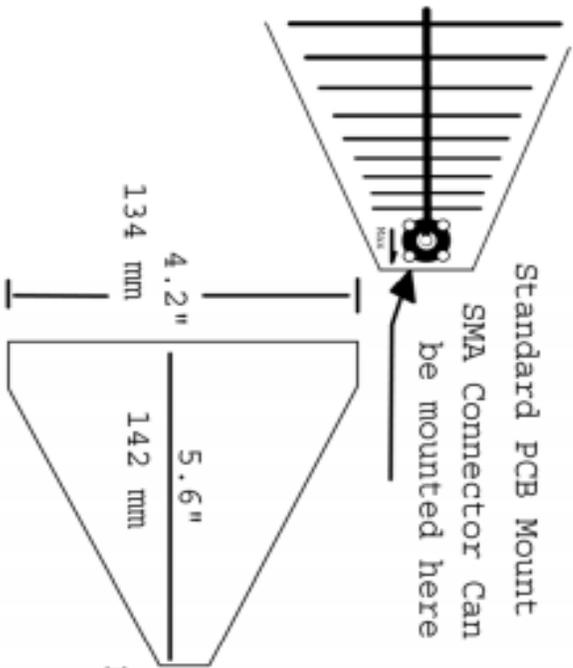
The information contained in this document is accurate to the best of our knowledge and representative of the part described herein. It may be necessary to make modifications to the part and/or the documentation of the part, in order to implement improvements. Pasternack reserves the right to make such changes as required. Unless otherwise stated, all specifications are nominal. Pasternack does not make any representation or warranty regarding the suitability of the part described herein for any particular purpose, and Pasternack does not assume any liability arising out of the use of any part or documentation.



ANEXO D. Datasheet Antena LP0965.

850-6500 MHz PCB LP

WASVJB



Notes: Coax can be soldered directly to the antenna

Center conductor to the center pad

Coax shield to a corner pad

Coax should be routed along the "Boom" or at 90-deg to the antenna

Typical Antenna Factors:

900 MHz	24.0
1.0 GHz	24.2
1.5 GHz	27.5
2.0 GHz	30.1
2.4 GHz	32.0
3.0 GHz	33
6 GHz	40

Typical Forward Gain: 6 dBi

Title		PCB-LP Antenna	
Size	Number	Rev	
B	NTMS	A	
Date: 1-14-2012		Drawn by: KEB	
File Name: D88565.pcb		Sheet 1 of 1	

ANEXO E. Código del Transmisor

Generación de la señal y conversión a bits

```
classdef QPSKBitsGenerator < matlab.System
    %#codegen
    % Generates the bits for each frame

    % Copyright 2012 The MathWorks, Inc.

    properties (Nontunable)

        MessageL = 1050;
        BernoulliL = 690;
        ScramblerBase = 2;
        ScramblerPolynomial = [1 1 1 0 1];
        ScramblerInitialConditions = [0 0 0 0];
    end

    properties (Access=private)
        pHeader
        pScrambler
        pMsgStrSet
        pCount
    end

    methods
        function obj = QPSKBitsGenerator(varargin)
            setProperties(obj,nargin,varargin{:});
        end
    end

    methods (Access=protected)
        function setupImpl(obj, ~)
            bbc = [+1 +1 +1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1]; % Bipolar
            % Barker Code
            ubc = ((bbc + 1) / 2)'; % Unipolar Barker Code
            temp = (repmat(ubc,1,2))';
            obj.pHeader = temp(:);
            obj.pCount = 0;
            obj.pScrambler = comm.Scrambler(obj.ScamblerBase, ...
                obj.ScamblerPolynomial, obj.ScamblerInitialConditions);
            obj.pMsgStrSet = [ ];
        end

        function [y,msg] = stepImpl(obj)

            % Converts the message string to bit format
            %cycle = mod(obj.pCount,100);
            %msgStr = obj.pMsgStrSet(cycle+1,:);

            t=0.01:0.01:1.5;
```

```

x=chirp(t,0,1,10)*63+63;
msgBin = de2bi(int8(x),7,'left-msb');
msg = reshape(double(msgBin).',obj.MessageL,1);
data = [msg ; randi([0 1], obj.BernoulliL, 1)];

% Scramble the data
scrambledData = step(obj.pScrambler, data);

% Append the scrambled bit sequence to the header
y = [obj.pHeader ; scrambledData];

obj.pCount = obj.pCount+1;
end

function resetImpl(obj)
    obj.pCount = 0;
    reset(obj.pScrambler);
end

function releaseImpl(obj)
    release(obj.pScrambler);
end

function N = getNumInputsImpl(~)
    N = 0;
end

function N = getNumOutputsImpl(~)
    N = 2;
end
end
end
end

```

Modulación QPSK de la señal generada.

```

classdef QPSKTransmitter < matlab.System
    %#codegen
    % Generates the QPSK signal to be transmitted

    % Copyright 2012 The MathWorks, Inc.

    properties (Nontunable)
        UpsamplingFactor = 4;
        MessageL = 1050;
        DataL = 1740;
        TransmitterFilterCoefficients = 1;
        ScramblerBase = 2;
        ScramblerPolynomial = [1 1 1 0 1];
        ScramblerInitialConditions = [0 0 0 0];
    end
end

```

```

properties (Access=private)
    pBitGenerator
    pQPSKModulator
    pTransmitterFilter
end

methods
    function obj = QPSKTransmitter(varargin)
        setProperties(obj,nargin,varargin{:});
    end
end

methods (Access=protected)
    function setupImpl(obj)
        obj.pBitGenerator = QPSKBitsGenerator(...
            'MessageL', obj.MessageL, ...
            'BernoulliL', obj.DataL-obj.MessageL, ...
            'ScramblerBase', obj.ScramblerBase, ...
            'ScramblerPolynomial', obj.ScramblerPolynomial, ...
            'ScramblerInitialConditions',
obj.ScramblerInitialConditions);
        obj.pQPSKModulator = comm.QPSKModulator('BitInput',true, ...
            'PhaseOffset', pi/4);
        obj.pTransmitterFilter =
dsp.FIRInterpolator(obj.UpsamplingFactor, ...
            obj.TransmitterFilterCoefficients);
    end

    function transmittedSignal = stepImpl(obj)
        % Generates the data to be transmitted
        [transmittedData, ~] = step(obj.pBitGenerator);

        % Modulates the bits into QPSK symbols
        modulatedData = step(obj.pQPSKModulator, transmittedData);

        % Square root Raised Cosine Transmit Filter
        transmittedSignal = step(obj.pTransmitterFilter,
modulatedData);
    end

    function resetImpl(obj)
        reset(obj.pBitGenerator);
        reset(obj.pQPSKModulator );
        reset(obj.pTransmitterFilter);
    end

    function releaseImpl(obj)
        release(obj.pBitGenerator);
        release(obj.pQPSKModulator );
        release(obj.pTransmitterFilter);
    end

    function N = getNumInputsImpl(~)
        N = 0;
end

```

```
        end
    end
end
```

Configuración de la USRP

```
function SimParams = sdrucpsktransmitter_init(platform)
% Set simulation parameters
% SimParams = sdrucpsktransmitter_init

% Copyright 2012-2014 The MathWorks, Inc.

switch platform
case {'B200','B210'}
    SimParams.MasterClockRate = 20e6; %Hz
    SimParams.Fs = 200e3; % Sample rate
case {'X300','X310'}
    SimParams.MasterClockRate = 120e6; %Hz
    SimParams.Fs = 240e3; % Sample rate
case {'N200/N210/USRP2'}
    SimParams.MasterClockRate = 100e6; %Hz
    SimParams.Fs = 200e3; % Sample rate
otherwise
    error('sdruc:examples:UnsupportedPlatform', ...
        'Unsupported platform: %s.', platform)
end

% General simulation parameters
SimParams.Upsampling = 4; % Upsampling factor
SimParams.Ts = 1/SimParams.Fs; % Sample time

SimParams.FrameSize = 883;

% Tx parameters
SimParams.BarkerLength = 13; % Number of Barker code symbols

% Number of data payload bits per frame

SimParams.DataL = (SimParams.FrameSize - SimParams.BarkerLength)*2;
% Number of message bits per frame, 7 ASCII characters
SimParams.MessageL = 1050;
SimParams.FrameCount = 883;

SimParams.RxBufferedFrames = 10; % Received buffer length (in frames)
SimParams.RCFiltSpan = 10; % Filter span of Raised Cosine Tx Rx filters
(in symbols)
SimParams.ScramblerBase = 2;
SimParams.ScramblerPolynomial = [1 1 1 0 1];
SimParams.ScramblerInitialConditions = [0 0 0 0];

% Generate square root raised cosine filter coefficients (required only
for MATLAB example)
```

```

SimParams.SquareRootRaisedCosineFilterOrder =
SimParams.Upsampling*SimParams.RCFiltSpan;
SimParams.Rolloff = 0.5;

% Square root raised cosine transmit filter
hTxFilt = fdesign.interpolator(SimParams.Upsampling, ...
    'Square Root Raised Cosine', SimParams.Upsampling, ...
    'N,Beta', SimParams.SquareRootRaisedCosineFilterOrder,
SimParams.Rolloff);
hDTxFilt = design(hTxFilt);
SimParams.TransmitterFilterCoefficients = hDTxFilt.Numerator/2;

%SDRu transmitter parameters
SimParams.USRPCenterFrequency = 1.85e9;
SimParams.USRPGain = 25;
SimParams.USRPInterpolationFactor =
SimParams.MasterClockRate/SimParams.Fs;
SimParams.USRPFrameLength =
SimParams.Upsampling*SimParams.FrameSize*SimParams.RxBufferedFrames;

%Simulation Parameters
SimParams.FrameTime = SimParams.USRPFrameLength/SimParams.Fs;
SimParams.StopTime = 1000;

```

ANEXO F. Código del receptor

Demodulador de la señal recibida

```

classdef sdruQPSKDataDecoder < matlab.System
    %#codegen

    % Copyright 2012 The MathWorks, Inc.

    properties (Nontunable)
        FrameSize
        BarkerLength
        ModulationOrder
        DataL
        MessageL
        DescramblerBase
        DescramblerPolynomial
        DescramblerInitialConditions
        PrintOption
    end

    properties (Access=private)
        pCount
        pDelay
        pPhase
        pBuffer
        pModulator
    end

```

```

    pModulatedHeader
    pCorrelator
    pQPSKDemodulator
    pDescrambler
    pBitGenerator
    pBitGeneratorSync
    pBER
    pSyncFlag
    pSyncIndex
    pFrameIndex
end

methods
    function obj = sdruQPSKDataDecoder(varargin)
        setProperties(obj,nargin,varargin{:});
    end
end

methods (Access=protected)
    function setupImpl(obj, ~)
        [obj.pCount, obj.pDelay, obj.pPhase] = deal(0);
        obj.pFrameIndex=1;
        obj.pSyncIndex=0;
        obj.pSyncFlag=true;
        obj.pBuffer=dsp.Buffer(obj.FrameSize*2, obj.FrameSize);
        bbc = [+1 +1 +1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1]; % Bipolar
        Barker Code
        ubc = ((bbc + 1) / 2)'; % Unipolar Barker Code
        header = (repmat(ubc,1,2))';
        header = header(:);
        obj.pModulator = comm.QPSKModulator('BitInput', true, ...
            'PhaseOffset', pi/4);
        obj.pModulatedHeader = step(obj.pModulator, header); %
        Modulate the header
        obj.pCorrelator = dsp.Crosscorrelator;
        obj.pQPSKDemodulator =
        comm.QPSKDemodulator('PhaseOffset',pi/4, ...
            'BitOutput', true);
        obj.pDescrambler = comm.Descrambler(obj.DescramblerBase, ...
            obj.DescramblerPolynomial,
            obj.DescramblerInitialConditions);
        obj.pBER = comm.ErrorRate;
    end

    function BER = stepImpl(obj, DataIn)

        % Buffer one frame in case that contiguous data scatter
        across
        % two adjacent frames
        rxData = step(obj.pBuffer,DataIn);

        % Get a frame of data aligned on the frame boundary
        Data = rxData(obj.pDelay+1:obj.pDelay+length(rxData)/2);

```

```

        % Phase estimation
        y = mean(conj(obj.pModulatedHeader) .*
Data(1:obj.BarkerLength));

        % Compensating for the phase offset
        if Data(1)~=0
            phShiftedData = Data .* exp(-1j*obj.pPhase);
        else
            phShiftedData = complex(zeros(size(Data)));
        end

        % Demodulate the phase recovered data
        demodOut = step(obj.pQPSKDemodulator, phShiftedData);

        % Perform descrambling
        deScrData = step(obj.pDescrambler, ...
            demodOut( ...
                obj.BarkerLength*log2(obj.ModulationOrder)+1 : ...
                obj.FrameSize*log2(obj.ModulationOrder)));

        % Recovering the message from the data
        Received = deScrData(1:obj.MessageL);

        % Finding the delay to achieve frame synchronization
        z=abs(step(obj.pCorrelator,obj.pModulatedHeader,DataIn));
        [~, ind] = max(z);
        obj.pDelay = mod(length(DataIn)-ind, (length(DataIn)-1));

        % Phase ambiguity correction
        obj.pPhase = round(angle(y)*2/pi)/2*pi;

        % Print received frame and estimate the received frame index
        [estimatedFrameIndex, syncIndex]=bits2ASCII(obj,Received);
        obj.pSyncIndex = syncIndex;
        % Once it is possible to decode the frame index four times,
        % frame synchronization is achieved
        if ((obj.pSyncFlag) && (estimatedFrameIndex~=100) &&
(obj.pSyncIndex>=4))
            obj.pFrameIndex=estimatedFrameIndex;
            obj.pSyncFlag=false;
        end
        % With the estimated frame index, estimate the transmitted
        % message
        transmittedMessage=messEstimator(obj.pFrameIndex, obj);
        % Calculate the BER
        BER = step(obj.pBER,transmittedMessage,Received);
        obj.pCount = obj.pCount + 1;
        obj.pFrameIndex = obj.pFrameIndex + 1;

    end

function resetImpl(obj)
    reset(obj.pBuffer);
end

```

```

function releaseImpl(obj)
    release(obj.pBuffer);
end

end

methods (Access=private)
    function [estimatedFrameIndex, syncIndex]=bits2ASCII(obj,u)
        coder.extrinsic('disp')

        % Convert binary-valued column vector to 7-bit decimal
values.
        w = [64 32 16 8 4 2 1]; % binary digit weighting
        Nbits = numel(u);
        Ny = Nbits/7;
        y = [];
        % Obtain ASCII values of received frame
        for i = 0:Ny-1
            y = [y,w*u(7*i+(1:7))];

            fileID =
fopen('C:\Users\FIE\Documents\MATLAB\MOSTRAR\datos00.txt','r');
            A=fscanf(fileID,'%d %d');
            fclose(fileID);
            B = [A',w*u(7*i+(1:7))];

            fi =
fopen('C:\Users\FIE\Documents\MATLAB\MOSTRAR\datos00.txt','w');
            fprintf(fi,'%d %d ',B);
            fclose(fi);
        end

        % Display ASCII message to command window
        if(obj.PrintOption)
            disp(y);
            %plot(B);
        end
        % Retrieve last 2 ASCII values
        decodedNumber=y(Ny-1:end);
        % Create lookup table of ASCII values and corresponding
integer numbers
        look_tab=zeros(2,10);
        look_tab(1,:)=0:9;
        look_tab(2,:)=48:57;
        % Initialize variables
        estimatedFrameIndex=100;
        syncIndex=0;
        onesPlace=0;
        tensPlace=0;
        dec_found=false;
        unity_found=false;

        % Index lookup table with decoded ASCII values
        % There are more efficient ways to perform vector indexing

```

```

codegen % using MATLAB functions like find(). However, to meet
% requirements, the usage of the four loop was necessary.

for ii=1:10
    % Find the ones place in the lookup table
    if ( decodedNumber(1) == look_tab(2,ii) )
        onesPlace=10*look_tab(1,ii);
        dec_found=true;
    end
    % Find the tens place in the lookup table
    if ( decodedNumber(2) == look_tab(2,ii) )
        tensPlace=look_tab(1,ii);
        unity_found=true;
    end
end
% Estimate the frame index
if(dec_found && unity_found && obj.pSyncFlag)
    estimatedFrameIndex=onesPlace+tensPlace;
    syncIndex=obj.pSyncIndex+1;
end

end

function msg = messEstimator(ind, obj)

    MsgStrSet = [];

    cycle = mod(ind,100);
    %msgStr = MsgStrSet(cycle+1,:);

    t=0.01:0.01:1.5;
    x=chirp(t,0,1,10)*63+63;
    msgBin = de2bi(int8(x),7,'left-msb');
    msg = reshape(double(msgBin).',obj.MessageL,1);

end

end
end

```

Parametros de la USRP

```

function SimParams = sdrugpskreceiver_init(platform)
% Set simulation parameters
% SimParams = sdrugpsktransmitter_init

% Copyright 2012-2014 The MathWorks, Inc.

switch platform

```

```

case {'B200','B210'}
    SimParams.MasterClockRate = 20e6; %Hz
    SimParams.Fs = 200e3; % Sample rate
case {'X300','X310'}
    SimParams.MasterClockRate = 120e6; %Hz
    SimParams.Fs = 240e3; % Sample rate
case {'N200/N210/USRP2'}
    SimParams.MasterClockRate = 100e6; %Hz
    SimParams.Fs = 200e3; % Sample rate
otherwise
    error('sdru:examples:UnsupportedPlatform', ...
        'Unsupported platform: %s.', platform)
end

% General simulation parameters
SimParams.M = 4; % M-PSK alphabet size
SimParams.Upsampling = 4; % Upsampling factor
SimParams.Downsampling = 2; % Downsampling factor
SimParams.Ts = 1/SimParams.Fs; % Sample time
SimParams.FrameSize = 883;

% Tx parameters
SimParams.BarkerLength = 13; % Number of Barker code symbols
% Number of data payload bits per frame
SimParams.DataL = (SimParams.FrameSize - SimParams.BarkerLength)*2;
ASCII characters
SimParams.MessageL = 1050;
SimParams.FrameCount = 883;
SimParams.ScramblerBase = 2;
SimParams.ScramblerPolynomial = [1 1 1 0 1];
SimParams.ScramblerInitialConditions = [0 0 0 0];

SimParams.RxBufferedFrames = 10; % Received buffer length (in frames)
SimParams.RCFiltSpan = 10; % Filter span of Raised Cosine Tx Rx filters
(in symbols)

% Generate square root raised cosine filter coefficients (required only
for MATLAB example)
SimParams.SquareRootRaisedCosineFilterOrder =
SimParams.Upsampling*SimParams.RCFiltSpan;
SimParams.RollOff = 0.5;

% Square root raised cosine receive filter
hRxFilt = fdesign.decimator(SimParams.Upsampling/SimParams.Downsampling,
...
    'Square Root Raised Cosine', SimParams.Upsampling, ...
    'N,Beta', SimParams.SquareRootRaisedCosineFilterOrder,
SimParams.RollOff);
hDRxFilt = design(hRxFilt);
SimParams.ReceiverFilterCoefficients = hDRxFilt.Numerator;

% Rx parameters
K = 1;
A = 1/sqrt(2);

```

```

% Look into model for details for details of PLL parameter choice. Refer
equation 7.30 of "Digital Communications - A Discrete-Time Approach" by
Michael Rice.
SimParams.PhaseErrorDetectorGain = 2*K*A^2+2*K*A^2; % K_p for Fine
Frequency Compensation PLL, determined by 2KA^2 (for binary PAM), QPSK
could be treated as two individual binary PAM
SimParams.PhaseRecoveryGain = 1; % K_0 for Fine Frequency Compensation
PLL
SimParams.TimingErrorDetectorGain = 2.7*2*K*A^2+2.7*2*K*A^2; % K_p for
Timing Recovery PLL, determined by 2KA^2*2.7 (for binary PAM), QPSK could
be treated as two individual binary PAM, 2.7 is for raised cosine filter
with roll-off factor 0.5
SimParams.TimingRecoveryGain = -1; % K_0 for Timing Recovery PLL, fixed
due to modulo-1 counter structure
SimParams.CoarseCompFrequencyResolution = 50; % Frequency resolution for
coarse frequency compensation
SimParams.PhaseRecoveryLoopBandwidth = 0.01; % Normalized loop bandwidth
for fine frequency compensation
SimParams.PhaseRecoveryDampingFactor = 1; % Damping Factor for fine
frequency compensation
SimParams.TimingRecoveryLoopBandwidth = 0.01; % Normalized loop bandwidth
for timing recovery
SimParams.TimingRecoveryDampingFactor = 1; % Damping Factor for timing
recovery

%SDRu receiver parameters
SimParams.USRPCenterFrequency = 1.85e9;
SimParams.USRPGain = 31;
SimParams.USRPDecimationFactor = SimParams.MasterClockRate/SimParams.Fs;
SimParams.USRPFrontEndSampleRate = 1/SimParams.Fs;
SimParams.USRPFrameLength =
SimParams.Upsampling*SimParams.FrameSize*SimParams.RxBufferedFrames;

%Simulation parameters
SimParams.FrameTime = SimParams.USRPFrameLength/SimParams.Fs;
SimParams.StopTime = 1;

```

ANEXO G. Código del procesamiento de datos

```

dat=importdata('C:\Users\Christian\Documents\MATLAB\MOSTRAR\datos6.txt');
A=dat;

figure
plot(A)

i=1;
j=i+1;
k=0;
while ( k == 0)

    if( (A(i)==126) && (A(j)==126))
        k=1;
    else

```

```

        A(i)=0;

    end
    i=i+1;
    j=i+1;
end

figure
plot(A)

t=0.00001:0.00001:0.09;
x=cos(2*pi*(10*t+2000*t.^2));
z=(x);
figure
plot(z)

B=A;
C=z.*B;
figure
plot(C)

g=fftshift(abs(fft(C)));

switch i
    case 303
        figure
        g1=-27000/7:6/7:(27000-1)/7;
        plot(g1,g,'r')

        h=msgbox(sprintf('La distancia del objeto es 6m'),'Resultado');

    case 452
        figure
        g1=-27000/4:6/4:(27000-1)/4;
        plot(g1,g,'r')

        h=msgbox(sprintf('La distancia del objeto es 12m'),'Resultado');

    case 752
        figure
        g1=-27000/3:6/3:(27000-1)/3;
        plot(g1,g,'r')
        h=msgbox(sprintf('La distancia del objeto es 18m'),'Resultado');
end

```