



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA, TELECOMUNICACIONES
Y REDES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL
BARRIDO, ANÁLISIS SUPERFICIAL Y CARACTERIZACIÓN DE
SUELOS ÁRIDOS Y HÚMEDOS SIN VEGETACIÓN MEDIANTE
TECNOLOGÍA SDRADAR”**

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRONICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR: PATRICIO ANDRES ESPINOZA GUEVARA

TUTOR: ING. PAÚL DAVID MORENO AVILÉS PhD.

Riobamba – Ecuador

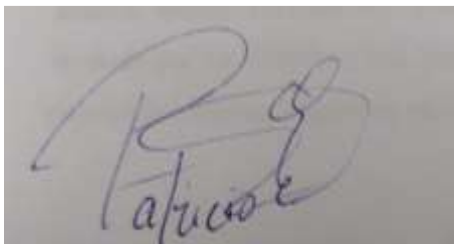
2020

©2020, Patricio Andrés Espinoza Guevara

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

Yo, Patricio Andrés Espinoza Guevara, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor (a) asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Riobamba, 20 de febrero de 2020.

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored surface. The signature is written in a cursive style and appears to read 'Patricio'.

Patricio Andrés Espinoza Guevara
172036220-9

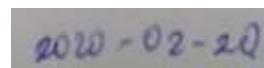
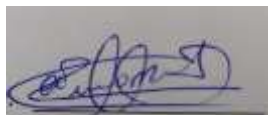
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El Tribunal del Proyecto de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL BARRIDO, ANALISIS SUPERFICIAL Y CARACTERIZACIÓN DE SUELOS ÁRIDOS Y HÚMEDOS SIN VEGETACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA SDRADAR**, realizado por el señor/la señora: **PATRICIO ÁNDRES ESPINOZA GUEVARA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

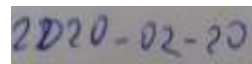
Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Paúl David Moreno Avilés PhD.
**DIRECTOR DEL PROYECTO
DE TITULACIÓN**



Ing. Pedro Severo Infante Moreira Dr.C.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación es dedicado principalmente a Dios por darme la salud y fuerza necesaria para recorrer cada paso de esta carrera universitaria.

A mis padres Patricio Espinoza y Glidza Guevara, por ser mi ejemplo diario a seguir, quienes nunca han perdido la fe en mí y ser mi sustento cada día de mi vida, a mis hermanos, tía y abuela, por ser una familia ejemplar.

Por mi experiencia obtenida en esta magna institución, mi segundo hogar por los 5 años vividos en sus instalaciones, y a cada uno de los aproximadamente 19 mil estudiantes, gracias a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO (ESPOCH).

Patricio Espinoza

AGRADECIMIENTO

A mis padres por estar junto a mi cada día en mi etapa universitaria pese a la distancia o dificultades, guiando mi ser por el camino de Dios y los valores que forjan a un verdadero ser humano.

Al Ing. David Moreno y al Ing. Hugo Moreno por ser grandes guías en la realización de este trabajo de titulación, con su paciencia y tiempo invertido en tutorías en la culminación de mi etapa como estudiante universitario.

Al grupo de investigación GIDAC y laboratorio de Microondas de la FIE, a sus técnicos de laboratorio por abrir las puertas en el uso de equipamiento, guía y consejos para culminación del trabajo de titulación.

A cada uno de mis amigos quienes han sido mi segunda familia en una tierra ajena, con quienes compartimos momentos de camaradería en estos 5 años de carrera universitaria.

Patricio Andrés Espinoza Guevara

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INDICE DE GRÁFICOS.....	xv
INDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xx
SUMMARY.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	4
JUSTIFICACIÓN APLICATIVA.....	4
OBJETIVOS.....	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEORICO.....	6
1.1. Radar.....	6
<i>1.1.1. Definición.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2. Principio de Funcionamiento.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.3. Componentes del Radar.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.3.1. Transmisor.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.3.2. Antena.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.3.3. Receptor.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.4. Ecuación base para generar un sistema radar.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.5. Clasificación del radar.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.5.1. Según el número de antenas.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.5.2. Según el Blanco.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.5.3. Según su forma de Onda.....</i>	<i>10</i>
<i>1.1.5.4. Según su Finalidad.....</i>	<i>10</i>

1.1.6.	Banda de frecuencia para radar	10
1.2.	Software Defined Radio (SDR)	10
1.2.1.	Arquitectura SDR	11
1.2.2.	Señales para trabajo SDR	11
1.2.2.1.	<i>Onda continua modulada en frecuencia (FMCW)</i>	12
1.2.3.	Proceso de transmisión y recepción de señal con tecnología SDR	12
1.2.4.	SDRadar	13
1.2.5.	Generación de señales radar	13
1.2.5.1.	<i>Onda de transmisión</i>	13
1.2.5.2.	<i>Onda de recepción</i>	14
1.2.5.3.	<i>Detección de objeto</i>	15
1.2.6.	Señal Chirp	15
1.2.6.1.	<i>Señal transmitida</i>	16
1.2.6.2.	<i>Señal recibida</i>	17
1.2.6.3.	<i>Detección de objeto señal chirp</i>	18
1.3.	Tarjeta USRP	19
1.3.1.	Tarjeta USRP-2932	19
1.3.1.1.	<i>Características NI USRP-2932</i>	20
1.3.1.2.	<i>Limitaciones de la NI USRP-2932</i>	22
1.4.	Sistemas Radiantes	23
1.4.1.	Sistemas Radiantes con Radar	23
1.5.	Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV)	23
1.5.1.	Uso de UAV	24
1.5.1.1.	<i>Militar</i>	24
1.5.1.2.	<i>Civil</i>	24
1.5.2.	Aplicaciones	25
1.5.2.1.	<i>Geología</i>	25
1.5.2.2.	<i>Agricultura y ganadería</i>	26
1.5.2.3.	<i>Medio Ambiente</i>	26

1.5.3.	Matrice 600 (M600)	27
1.5.3.1.	<i>Características Matrice 600</i>	28
1.6.	Suelos	29
1.6.1.	Composición del suelo	29
1.6.2.	Características del suelo	30
1.6.2.1.	<i>Características Físicas</i>	30
1.6.2.2.	<i>Características Químicas</i>	30
1.6.3.	Tipos de suelos	30
1.6.3.1.	<i>Suelo arenoso</i>	30
1.6.3.2.	<i>Suelo arcilloso</i>	31
1.6.3.3.	<i>Suelo franco</i>	31
1.7.	Matlab	32
1.8.	LabVIEW	33
CAPITULO II		
2.	MARCO METODOLOGICO	34
2.1.	Identificación técnica y teórica para tecnología SDR	36
2.1.1.	<i>Resolución máxima</i>	36
2.1.2.	<i>Ancho de banda</i>	37
2.1.3.	<i>Distancia máxima</i>	37
2.1.4.	<i>Coefficiente de reflexión</i>	37
2.1.5.	<i>Permitividad</i>	40
2.2.	Diseño de la señal FMCW	42
2.2.1.	<i>Transmisor</i>	42
2.2.2.	<i>Receptor</i>	46
2.2.3.	<i>Procesamiento de las señales</i>	50
2.2.3.1.	<i>Radargrama</i>	52
2.2.4.	<i>Corrección de ancho de banda señal chirp en LabVIEW</i>	54
2.3.	Identificación de las muestras	56
2.3.1.	<i>Selección de terrenos</i>	56
2.3.1.1.	<i>Terreno Facultad de Informática Electrónica</i>	56

2.3.1.2.	<i>Terreno de la Facultad de Ciencias Pecuarias</i>	57
2.3.1.3.	<i>Terreno de la Facultad de Recursos Naturales</i>	58
2.4.	Análisis físico y químico de los terrenos	58
2.4.1.	<i>pH</i>	59
2.4.2.	<i>Conductividad</i>	60
2.4.3.	<i>% Humedad</i>	61
2.4.4.	<i>Densidad aparente</i>	62
2.4.5.	<i>Color</i>	63
2.4.6.	<i>Textura y estructura</i>	64
2.5.	Implementación del prototipo	68
2.5.1.	<i>Área de muestreo</i>	68
2.5.2.	<i>Calibración de las señales</i>	69
2.5.3.	<i>Implementación de equipamiento manual</i>	71
2.5.3.1.	<i>Toma de datos manual</i>	71
2.5.3.2.	<i>Antena Tx</i>	72
2.5.3.3.	<i>Antena Rx</i>	73
2.5.4.	<i>Implementación de equipamiento con UAV</i>	73
2.5.4.1.	<i>Toma de datos con UAV</i>	74
2.5.4.2.	<i>Antena Tx y Rx</i>	75
CAPITULO III		
3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
3.1.	Resultados del análisis de suelos	77
3.1.1.	<i>Conductividad y pH</i>	77
3.1.2.	<i>Humedad y densidad aparente</i>	78
3.1.3.	<i>Color</i>	79
3.1.4.	<i>Textura y estructura</i>	79
3.2.	Resultados de campo	82
3.2.1.	<i>Datos del terreno de la Facultad de Informática y Electrónica</i>	82
3.2.2.	<i>Datos del terreno de la Facultad de Ciencias Pecuarias</i>	93
3.2.3.	<i>Datos del terreno de la Facultad de Recursos Naturales</i>	103

3.3.	Comparación de resultados.....	114
3.3.1.	<i>Resultado final Terreno 1.....</i>	114
3.3.2.	<i>Resultado final Terreno 2.....</i>	115
3.3.3.	<i>Resultado final muestra 3.....</i>	115
3.4.	Resultados Estadísticos de los terrenos	116
3.4.1.	<i>Metodología estadística</i>	116
3.4.1.1.	<i>Distribución Normal</i>	116
3.4.1.2.	<i>Independencia en la toma de datos.....</i>	117
3.4.2.	<i>Prueba de terreno 1.....</i>	117
3.4.3.	<i>Prueba de terreno 2.....</i>	118
3.4.4.	<i>Prueba de terreno 3.....</i>	118
	CONCLUSIONES	120
	RECOMENDACIONES	122
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Características del transmisor USRP-2932.....	20
Tabla 2-1: Características del receptor USRP-2932.	21
Tabla 3-1: Características del oscilador disciplinado GPS USRP-2932 (GPSDO).	21
Tabla 4-1: Características del M600.	28
Tabla 1-2: Características software de simulación.....	42
Tabla 2-2: Principales estructuras del suelo.	65
Tabla 3-2: Textura de los suelos.	66
Tabla 4-2: Parámetros electromagnéticos para diferentes tipos de suelos y para materiales no compactados.	67
Tabla 1-3: Terrenos de análisis.....	77
Tabla 2-3: Resultados de pH y conductividad.....	77
Tabla 3-3: Resultados de Humedad y Densidad Aparente.....	78
Tabla 4-3: Resultado Color.	79
Tabla 5-3: Resultados Textura.....	80
Tabla 6-3: Datos permitividad Terreno 1.....	82
Tabla 7-3: Datos permitividad terreno 1 con M600.....	88
Tabla 8-3: Datos permitividad Terreno 2.....	93
Tabla 9-3: Datos permitividad terreno 2 con M600.....	98
Tabla 10-3: Datos permitividad Terreno 3.....	104
Tabla 11-3: Datos permitividad Terreno 3 con M600.....	109
Tabla 12-3: Permitividad final Terreno 1.....	114
Tabla 13-3: Permitividad final Terreno 2.....	115
Tabla 14-3: Permitividad final Terreno 3.....	115
Tabla 15-3: Prueba t student barrido manual vs UAV, terreno 1.....	117
Tabla 16-3: Prueba t student barrido manual vs UAV, terreno 2.....	118
Tabla 17-3: Prueba t student barrido manual vs UAV, terreno 3.....	119

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Funcionamiento básico de un Radar.....	6
Figura 2-1: Funcionamiento de un sistema radar.	8
Figura 3-1: Diagrama de bloques funcional de un receptor SDR.....	11
Figura 4-1: Señal transmitida simple.....	14
Figura 5-1: Señal recibida simple.....	15
Figura 6-1: Señal chirp.	16
Figura 7-1: Relación de k, con respecto al tiempo máximo y ancho de banda.	17
Figura 8-1: Señal chirp transmitida.	17
Figura 9-1: Señal chirp recibida.	18
Figura 10-1: Señal chirp multiplicada.....	18
Figura 11-1: Transformada de fourier señal chirp (Radargrama).	19
Figura 12-1: Tarjeta USRP-2932.....	22
Figura 13-1: Espectro de frecuencia observado por un receptor USRP, con un ancho de banda de 20 MHz cuando ninguna señal e conectada en la entrada.	22
Figura 14-1: UAV (Vehículo Aero no Tripulado)	24
Figura 15-1: Uso de UAV en geología.	25
Figura 16-1: Monitoreo de humedad en cultivos con un drone.....	26
Figura 17-1: Seguimiento de lava en una explosión volcánica.	27
Figura 18-1: Matrice 600.	27
Figura 19-1: A3 Pro del M600.	28
Figura 20-1: Suelo Arenoso.	31
Figura 21-1: Suelo Arcilloso.	31
Figura 22-1: Suelo franco.	32
Figura 1-2: Implementación del prototipo.....	36
Figura 2-2: Onda reflejada y transmitida en una estructura formada por varias capas.	38
Figura 3-2: Bloques iniciales de Tx en Labview.....	43
Figura 4-2: Bloques de generación señales Tx en LabVIEW.	43
Figura 5-2: Generación señal chirp para Tx en LabVIEW.	44
Figura 6-2: Configuración grafica de Tx en LabVIEW.....	44
Figura 7-2: Señal Tx en LabVIEW dominio de la frecuencia.....	44
Figura 8-2: Señal Tx en LabVIEW dominio del tiempo.....	45
Figura 9-2: Envío señal chirp por medio de bloques Rx en LabVIEW.	45
Figura 10-2: Bloques iniciales de Rx en LabVIEW.	46
Figura 11-2: Bloques de generación señales Rx en LabVIEW.	46

Figura 12-2: Configuración gráfica de Rx en LabVIEW.....	47
Figura 13-2: Señal Rx en LabVIEW dominio de la frecuencia.....	47
Figura 14-2: Señal Rx en LabVIEW dominio del tiempo.....	48
Figura 15-2: Etapas de configuración previa recepción de la señal en LabVIEW.	48
Figura 16-2: Etapa de recepción de la señal.....	49
Figura 17-2: Reconstrucción de la señal.	50
Figura 18-2: Finalización de la comunicación.	50
Figura 19-2: Señal Tx y Rx en Matlab.....	51
Figura 20-2: Transformada de Fourier de la señal Tx y Rx en Matlab.....	52
Figura 21-2: Multiplicación señal Tx y Rx, calibrada.	52
Figura 22-2: Coeficiente de reflexión señal calibrada.	53
Figura 23-2: Coeficiente de reflexión señal resultante.	53
Figura 24-2: Radargrama.	54
Figura 25-2: Espectro señal chirp, frecuencia de muestreo 80MHz.....	55
Figura 26-2: Espectro señal chirp, frecuencia de muestreo 80MHz en Labview.....	55
Figura 27-2: Terreno número 1 Facultad de Informática y Electrónica	57
Figura 28-2: Terreno número 2 Facultad de Ciencias Pecuarias.....	57
Figura 29-2: Terreno número 3 Facultad de Recursos Naturales.....	58
Figura 30-2: Medición de pH.....	60
Figura 31-2: Medición de conductividad.....	61
Figura 32-2: Pesado de Terrones.....	62
Figura 33-2: Densidad aparente.....	63
Figura 34-2: Prueba de color.....	64
Figura 35-2: Principales estructuras del suelo.....	64
Figura 36-2: Textura de las muestras.....	66
Figura 37-2: Área de análisis.	68
Figura 38-2: Plano conductor (cobre).....	69
Figura 39-2: Calibración señal barrido manual.....	70
Figura 40-2: Calibración señal barrido con UAV.....	71
Figura 41-2: Toma manual de datos.	71
Figura 42-2: HyperLOG 7060.....	72
Figura 43-2: HyperLOG 30180.....	73
Figura 44-2: USRP-2932 montada en el M600.....	74
Figura 45-2: Proceso de muestreo con el M600.....	75
Figura 46-2: Antenas Yagi.....	76
Figura 47-2: Antenas Yagi montadas para barrido con el M600.....	76

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Etapas para la caracterización superficial de suelos áridos y húmedos.	34
Gráfico 2-2: Secuencia de pasos para la realización del trabajo de titulación.	35
Gráfico 1-3: Resultado pH y conductividad.	78
Gráfico 2-3: Resultado Humedad y Da.	79
Gráfico 3-3: Porcentajes de Textura Terreno 1.	80
Gráfico 4-3: Porcentajes de Textura Terreno 2.	81
Gráfico 5-3: Porcentajes de Textura Muestra 3.	82
Gráfico 6-3: Permitividad Terreno 1.	84
Gráfico 7-3: Permitividad Muestras 1 forma 3D.	84
Gráfico 8-3: Permitividad Muestras 1 forma plano.	85
Gráfico 9-3: Permitividad Muestras 2 forma 3D.	85
Gráfico 10-3: Permitividad Muestras 2 forma plano.	86
Gráfico 11-3: Permitividad Muestras 3 forma 3D.	86
Gráfico 12-3: Permitividad Muestras 3 forma plano.	87
Gráfico 13-3: Permitividad medida con el M600.	89
Gráfico 14-3: Permitividad Muestras 1 con M600 forma 3D.	89
Gráfico 15-3: Permitividad Muestras 1 con M600 forma plano.	90
Gráfico 16-3: Permitividad Muestras 2 con M600 forma 3D.	90
Gráfico 17-3: Permitividad Muestras 2 con M600 forma plano.	91
Gráfico 18-3: Permitividad Muestras 3 con M600 forma 3D.	91
Gráfico 19-3: Permitividad Muestras 3 con M600 forma plano.	92
Gráfico 20-3: Permitividad Terreno 2.	94
Gráfico 21-3: Permitividad Muestras 1 forma 3D.	94
Gráfico 22-3: Permitividad Muestras 1 forma plano.	95
Gráfico 23-3: Permitividad Muestras 2 forma 3D.	96
Gráfico 24-3: Permitividad Muestras 2 forma plano.	96
Gráfico 25-3: Permitividad Muestras 3 forma 3D.	97
Gráfico 26-3: Permitividad Muestras 3 forma plano.	98
Gráfico 27-3: Permitividad Terreno 2 con M600.	100
Gráfico 28-3: Permitividad Muestras 1 con M600 forma 3D.	100
Gráfico 29-3: Permitividad Muestras 1 con M600 forma plano.	101
Gráfico 30-3: Permitividad Muestras 2 con M600 forma 3D.	101
Gráfico 31-3: Permitividad Muestras 2 con M600 forma plano.	102
Gráfico 32-3: Permitividad Muestras 3 con M600 forma 3D.	102

Gráfico 33-3: Permitividad Muestras 3 con M600 forma plano.....	103
Gráfico 34-3: Permitividad Muestra 3	105
Gráfico 35-3: Permitividad Muestras 1 forma 3D.	106
Gráfico 36-3: Permitividad Muestras 1 forma plano.	106
Gráfico 37-3: Permitividad Muestras 2 forma 3D.	107
Gráfico 38-3: Permitividad Muestras 2 forma plano.	107
Gráfico 39-3: Permitividad Muestras 3 forma 3D.	108
Gráfico 40-3: Permitividad Muestras 3 forma plano.	108
Gráfico 41-3: Permitividad Terreno 2 con M600.	110
Gráfico 42-3: Muestras 1 con M600 forma 3D.	111
Gráfico 43-3: Permitividad Muestras 1 con M600 forma plano.....	111
Gráfico 44-3: Muestras 2 con M600 forma 3D.	112
Gráfico 45-3: Permitividad Muestras 2 con M600 forma plano.....	112
Gráfico 46-3: Muestras 3 con M600 forma 3D.	113
Gráfico 47-3: Permitividad Muestras 3 con M600 forma plano.....	114

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS NATIONAL INSTRUMENTS USRP-2932.

ANEXO B: ESPECIFICACIONES TECNICAS USRP-2932.

ANEXO C: CÓDIGO DE PROCESAMIENTO EN MATLAB.

ANEXO D: ESPECIFICACIONES MATRICE 600.

ANEXO E: ESPECIFICACIONES ANTENA 30180.

ANEXO F: ESPECIFICACIONES ANTENA 7060.

INDICE DE ABREVIATURAS

CW	Onda Continua
DA	Densidad Aparente
ϵ	Permitividad
FMCW	Onda Continua Modulada en Frecuencia
GHz	GigaHertz
GIDAC	Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático
GIS	Geographic Information System
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IDFT	Transformada Inversa Discreta de Fourier
LPDA	Matriz Periódica Logarítmica
LFM	Pulso Chirp (Frecuencia Lineal Modulada)
MHz	MegaHertz
M600	Matrice 600
OFDM	Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales
PAN	Red de Área Personal

PSR	Radar de Vigilancia Primaria
RCS	Sección Transversal del Radar
SDR	Software Definido por Radio
SFCW	Onda Continua de Frecuencia Escalonada
SSR	Radar Secundario de Vigilancia
T	Coefficiente de Transmisión
TIC	Tecnologías de la información y la comunicación
UAV	Vehículo Aéreo no Tripulado
USRP	Dispositivo de Radio Definido por Software
Γ	Coefficiente de Reflexión

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo realizar un barrido, análisis superficial y caracterización de suelos áridos y húmedos sin vegetación mediante tecnología SDRADAR, seleccionando el software y hardware adecuado para el diseño del procesamiento de las muestras en cada uno de los terrenos de estudio, a través de investigación bibliográfica se analizó los requerimientos tanto técnicos, teóricos y prácticos para sustentar el trabajo de titulación y uso del método inductivo con trabajos de campo y laboratorio para una correcta caracterización del suelo, la finalidad del trabajo de titulación fue obtener una manera alternativa de realizar análisis de suelos de forma no invasiva en un terreno, a través de la implementación de un prototipo con uso de la tecnología SDRADAR; contrario a métodos convencionales los cuales requieren extraer una muestra de suelo, con la posibilidad de dañar el terreno del cual fue extraída; para lo cual se usó una señal transmitida FMCW con una frecuencia de corte de 2.4 y 2.45 GHZ dirigida hacia la superficie del suelo con incidencia normal, por medio de la tarjeta USRP-2932, implementada en un sistema radiante compuesto por el uso de antenas y un UAV-Matrice 600, para un barrido total del área en cada terreno en los predios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH); las señales transmitidas y recibidas por medio de LabVIEW y Matlab, fueron procesadas para obtener el valor de permitividad relativa en base al coeficiente de reflexión, dicho valor de permitividad relativa se encuentra dentro del rango de cada terreno. Los resultados de cada terreno son validados con un análisis físico-químico tradicional demostrando una validez al uso de un método no invasivo en la caracterización de suelos, con tecnología SDRADAR; para futuras investigaciones se plantea la posibilidad de realizar un estudio más amplio con tipos diferentes de suelos y notar las características que estos poseen.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <CARACTERIZACIÓN DE SUELOS>, <PERIFÉRICO UNIVERSAL DE SOFTWARE DE RADIO (USRP)>, <VEHÍCULO AEREO NO TRIPULADO (UAV)>, <RADAR DEFINIDO POR SOFTWARE (SDRADAR)>, <ONDA CONTINUA MODULADA EN FRECUENCIA (FMCW)>, <ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO>.



SUMMARY

The purpose of the present degree work was to carry out a sweep, surface analysis and characterisation of arid and humid soils without vegetation using SDRADAR technology, selecting the appropriate software and hardware for the design of the sample processing in each of the fields of study. Through bibliographic research, the technical, theoretical and practical requirements to support the work of titration and use of the inductive method with field and laboratory work for a correct soil characterisation were analysed. The purpose of the degree work was to obtain an alternative way to perform soil analysis in a non-invasive manner in a field, through the implementation of a prototype using SDRADAR technology, contrary to conventional methods which require extracting a soil sample, with the possibility of damaging the terrain from which it was extracted for which an FMCW transmitted signal was used with a cut off frequency of 2.4 and 2.45 GHz directed towards the soil surface with normal incidence, using the USRP-2932 card, implemented in a radiant system composed of the use of antennas and a UAV-Matrice 600, for a total sweep of the area in each terrain on the premises of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). The signals transmitted and received through LabVIEW and MATLAB, were processed to obtain the relative permittivity value based on the reflection coefficient, said relative permittivity value is within the range of each terrain. The results of each land are validated with a traditional physical-chemical analysis demonstrating a validity to the use of a non-invasive method in soil characterisation, with SDRADAR technology. For future researches, the possibility of carrying out a more extensive study with different types of soils and notice the characteristics they have.

Keywords: <ENGINEERING SCIENCES AND TECHNOLOGY>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <SOIL CHARACTERIZATION>, <UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL (USRP)>, <UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)>, <SOFTWARE DEFINED RADAR (SDRADAR)>, <FREQUENCY MODULATED CONTINUOUS WAVE (FMCW)>, <PHYSICAL-CHEMICAL ANALYSIS>.



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la forma tradicional para realizar un análisis y caracterización de suelos, requiere extraer una muestra del terreno deseado, la cual puede llegar a causar un daño en el lugar de estudio, en ocasiones provocadas por la falta de tecnología o un método no adecuado para el correcto procedimiento.

Es por esta razón que se presenta una forma alternativa para realizar una caracterización del suelo con resultados óptimos de forma autónoma y no invasiva para el terreno, con la utilización de una USRP (periférico universal de software de radio), los cuales poco a poco han sido utilizados en otros ámbitos de estudio, otro ejemplo de tecnología es el uso de UAV (vehículo aéreo no tripulado) en el uso mayoritario para un estudio visual, movilización, desaprovechando sus ventajas.

El desarrollo del presente trabajo de titulación busca usar la tecnología actual como una opción alterna en la caracterización de suelos, implementando un prototipo en base a la tecnología UAV para montar una tarjeta USRP, y poder analizar a través de un procesamiento las señales utilizadas en el envío y recepción contra la superficie del suelo; con el correcto procesamiento en los softwares definidos de LabView y Matlab, dicho proceso realizado con un barrido del terreno sobre la superficie, para caracterizarlo sin la necesidad de tomar una muestra directa del suelo.

Los resultados obtenidos del valor de permitividad relativa (constante dieléctrica) de cada tipo de suelo, en base al prototipo implementado, con el diseño del software y del hardware seleccionado; dicho valor caracteriza la muestra junto con la validación realizada correspondiente a un método tradicional físico-químico del suelo.

La finalidad del trabajo planteado es demostrar el uso de una tecnología alterna a métodos convencionales para obtener resultados similares a los obtenidos tradicionalmente, otorgando así una herramienta óptima para el uso de agricultores.

ANTECEDENTES

En la antigüedad, las dimensiones de cultivos no eran muy extensas, por lo tanto, no era difícil recorrerlas completamente, para su revisión, cosecha o análisis. La creciente demanda de alimentos necesita de cultivos más extensos, los cuales se vuelven cada vez más grandes para poder controlar todos los parámetros mencionados. Esta problemática genera que las personas no puedan conocer de manera puntual las necesidades de los cultivos que manejan y tomen decisiones generalizadas de manera equivocada. (Tacuri, Olmedo, 2016, p1).

El desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación está transformando cada vez más la forma en que la información se difunde y se obtiene en el sector agrícola. Las TIC pueden proporcionar información sobre las prácticas agrícolas, apoyar la organización y preparación de la tierra, permitir la detección temprana y el tratamiento de plagas y enfermedades para facilitar la previsión de las cosechas. La falta de métodos modernos en muchos ámbitos de la agricultura se debe a la poca infraestructuras existentes o poco fiables, a su vez la falta de acceso a un suministro fiable de electricidad y de apoyo a los sistemas de comunicación, que es un requisito crucial para el uso efectivo de las TIC; un ejemplo muy claro es en el África rural, donde la infraestructura de Internet se encuentra a veces totalmente ausente. (Guomin, 2016; p.2)

La agricultura de precisión, en síntesis, consiste en el empleo de nuevas tecnologías para un estudio detallado de la parcela, de manera que pueda aplicarse cada tratamiento de manera localizada. La agricultura de precisión empezó a estudiarse en los años ochenta, pero ha sido a partir del nuevo siglo cuando el desarrollo tecnológico y sobre todo el acceso barato a la tecnología han permitido su despegue definitivo. (Elika, 2001; pp.1-2).

Los UVA (vehículo aéreo no tripulado), conocidos como drones, son una tecnología hardware la cual no dispone de un piloto en su interior; en la actualidad, existen diversos proyectos en marcha sobre el uso de drones a nivel comercial, por ejemplo, la empresa Amazon envía en EEUU los paquetes a la puerta de casa a través de drones. Una de las aplicaciones con más potencial, además de la seguridad pública, es la agricultura de precisión ya mencionada y la monitorización de los campos. (Elika, 2001; pp.1-2).

La utilización de UAV alcanza otros ámbitos como estudios de investigación de Giusiano, Monica Noemí en Argentina, el cual consistía en encontrar maleza en los cultivos de maíz, cuando estos cultivos empezaban a desarrollarse, haciendo el estudio con imágenes adquiridas por un dron. (Giusiano, 2017, p9)

La aparición del radar, cuya primera observación se realizó en el Laboratorio de Investigación – naval U.S. (NLR), al posicionar un transmisor de radio en la costa del río Potomac, y un receptor en la otra, donde al pasar un barco inesperadamente, se generó una fluctuación de las señales que viajaban entre el receptor y el transmisor, es así que luego del estallido de la Segunda Guerra Mundial, este experimento vio la luz en cada uno de los artefactos desarrollados para lograr detectar y derribar tempranamente al enemigo; los primeros radares desarrollados por la armada de E.E.U.U, se situaban a frecuencias de 205 MHz, 100 MHz, 200 MHz, los que controlaban ataques de armas aéreas, de igual manera los desarrollados por la Unión Soviética, Inglaterra, siendo Alemania la que hizo los más grandes desarrollos en el campo del radar. (Serrano, 2019, p2).

Así llegamos a tiempos modernos donde existen investigaciones a través del uso de radares en el ámbito de suelos, como el estudio en el desprendimiento de terreno según la humedad que posee el suelo, a través de analizar la diferencia entre la señal enviada con la señal recibida, es decir la señal reflejada por el suelo y captada por el radar la cual a través de un procesamiento, entrega así datos de características del suelo (permitividad), mostrando así que tecnologías las cuales en un principio era exclusivas de uso de comunicaciones, llegan a ser usadas en otras áreas de estudio como lo vemos en estudio de suelos. (Veloz, 2018, p7).

La finalidad de este trabajo de titulación es ayudar a caracterizar suelos, mejorando sus sistemas de análisis, así como agilizar los procesos de barrido con la implementación del prototipo, por esta razón a través de combinar tecnologías actuales tanto el uso de dispositivos como UAV, como tecnología radar, poder cumplir las expectativas generadas por estos problemas de caracterizar suelos en la actualidad.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La necesidad de poder obtener un correcto y óptimo análisis superficial con una adecuada caracterización de suelos áridos y húmedos sin vegetación, hacen que el uso de tecnología SDRadar sea un método no invasivo y adecuado para la obtención de resultados deseados mediante su análisis y procesamiento.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué requerimientos serán los adecuados a utilizar sobre la tecnología SDRADAR?

¿Qué requerimientos son necesarios para caracterizar suelos áridos y húmedos?

¿Qué tipo de software y hardware serán utilizados en la implementación del prototipo?

¿Cómo diseñar un sistema de caracterización que identifique los requerimientos establecidos de suelos áridos y húmedos mediante la tarjeta USRP?

¿Cómo se evaluará el prototipo implementado en base al diseño del sistema?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En el presente proyecto, se va a realizar el diseño e implementación de un prototipo para el barrido, análisis superficial y caracterización de suelos áridos y húmedos sin vegetación mediante tecnología SDRADAR, realizado en trabajo de campo para la obtención de datos reales y posterior comparación.

Para el diseño se utilizarán el software adecuado para generar, enviar, recibir y procesar la señal, es decir, el diseño de un algoritmo que ejecute estas acciones, la cual arrojará los datos necesarios, al hablar de hardware el uso de un UAV autónomo de vuelo constante para el barrido del terreno, y a su vez un barrido manual para comparación de resultados, ambas formas de caracterización serán realizadas a través de una tarjeta USRP-2932 propiedad de la facultad de Informática y Electrónica por su capacidad de procesamiento.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Se utilizará tres muestras diferentes de suelos dentro de los predios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), separadas entre ellas y adyacentes a tres facultades: Facultad de Informática y Electrónica, Facultad de Ciencias Pecuarias y Facultad de Recursos

Naturales, haciendo un barrido de 100m², con un total de 75 muestras las cuales serán obtenidas a través de 3 repeticiones por punto teniendo una separación de 2m entre muestra y muestra dentro del área mencionada, manteniendo la base de realizar pruebas donde no exista vegetación y en menor medida donde exista algún tipo de vegetación. A la par de estas pruebas será realizado un análisis físico-químico tradicional a tres muestras correspondientes a cada uno de los terrenos, la finalidad de estos métodos es presentar la comparación y validación de resultados entre ambos métodos de barrido para caracterizar suelos, demostrando la factibilidad de la implementación del prototipo planteado.

Las etapas a realizar para el desarrollo del presente trabajo de titulación, son mencionadas en primer lugar, determinar los requerimientos de la tecnología SDRADAR y a su vez requerimientos para caracterizar suelos áridos y húmedos, luego con la información recopilada se iniciara el diseño del sistema el cual caracterizara e identificara los requerimientos de los suelos, posteriormente seleccionar el hardware y software necesarios para poner en marcha el diseño ya realizado para la captación de todos los datos obtenidos. Habiendo realizado el barrido y captación de todos los datos recolectados a lo largo de los tres terrenos de estudio, mostrar los resultados y comparación adecuada con respecto al análisis físico-químico método tradicional.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un prototipo para el barrido, análisis superficial y caracterización de suelos áridos y húmedos sin vegetación mediante tecnología SDRADAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los requerimientos adecuados a utilizar sobre la tecnología SDRADAR.
- Identificar los requerimientos necesarios para caracterizar suelos áridos y húmedos.
- Seleccionar el software y hardware a ser utilizados en la implementación del prototipo.
- Diseñar un sistema de caracterización que identifique los requerimientos establecidos de suelos áridos y húmedos.
- Evaluar el prototipo implementado en base al diseño del sistema.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO

1.1. Radar

1.1.1. Definición

La palabra Radar proviene del acrónimo Radio Detection and Ranging por sus siglas en inglés, que es un sistema de comunicación conformado por un transmisor un canal o medio y un receptor. El transmisor propaga una onda electromagnética a través de un medio no guiado (aire). (Mejía, 2017, p. 7)

A pesar de los usos militares que le dieron a esta tecnología radar, actualmente se ha visto necesario aplicarlo en distintas áreas como la meteorología o el control de tráfico aéreo/marítimo, entre otros usos. (Mejía, 2017, p. 7)

1.1.2. Principio de Funcionamiento

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 lo muestra la Figura 1-1. (Merchán, 2016, p. 10)

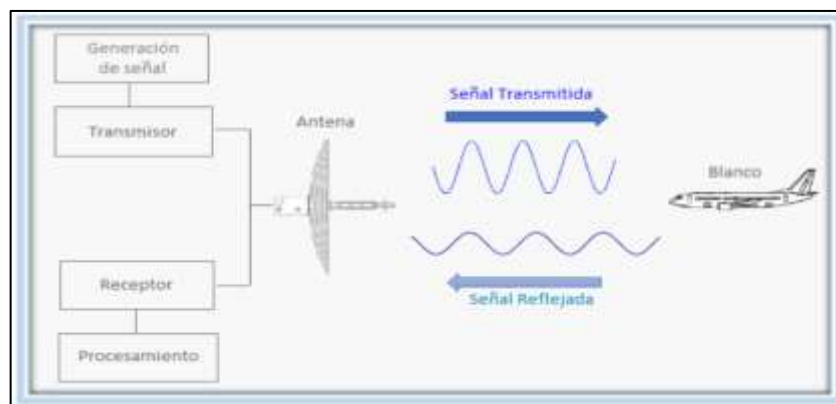


Figura 1-1: Funcionamiento básico de un Radar
Fuente: Merchán; 2016, p. 8.

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

$$R = \frac{c T_r}{2}$$

Ecuación 1-1:
Distancia Radar

De donde:

R: Representa la distancia del blanco.

C: 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

$\frac{1}{2}$: Factor debido a la distancia que se recorrerá es dos veces.

1.1.3. Componentes del Radar

Los componentes de un radar básico son: transmisor, receptor, procesador y presentador. El proceso 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. (Merchán, 2016, p. 11)

1.1.3.1. Transmisor

El transmisor tiene un papel importante, determinando la sensibilidad y el rango de resolución del radar. Son mostrados como un amplificador de potencia. Los transmisores radian campos electromagnéticos contenidos en una longitud de onda específica que son moduladas para llevar información. El transmisor de un sistema de radar debe ser eficiente, confiable, así como tener el ancho de banda amplio y la alta potencia que son características de las aplicaciones de radar. En general, el transmisor debe generar transmisiones estables y de bajo ruido para que las señales externas (no deseadas) del transmisor no interfieran con la detección del pequeño cambio de frecuencia Doppler producido por los objetivos móviles débiles. (Charvat, 2015, p. 2)

1.1.3.2. Antena

La antena determina la sensibilidad y la resolución angular del radar. Una gran variedad de tipos de antenas, son usadas en sistemas radar. Algunos de los tipos más comunes son antenas de reflector parabólico, antenas de alimentación de escaneo, y antenas de arreglos desfasados (Richards, 2005, p. 15).

1.1.3.3. Receptor

Los receptores recogen los campos electromagnéticos a una longitud de onda y los demoduladores para reproducir la información transmitida. Estos separan la señal deseada del ruido presente y otras señales interferentes. Los radio receptores sintonizan, amplifican, y aplican la detección a una longitud de onda específica o rango de longitudes de ondas y excluyen todas las demás, figura 2-1. (Charvat, 2014, p. 85)

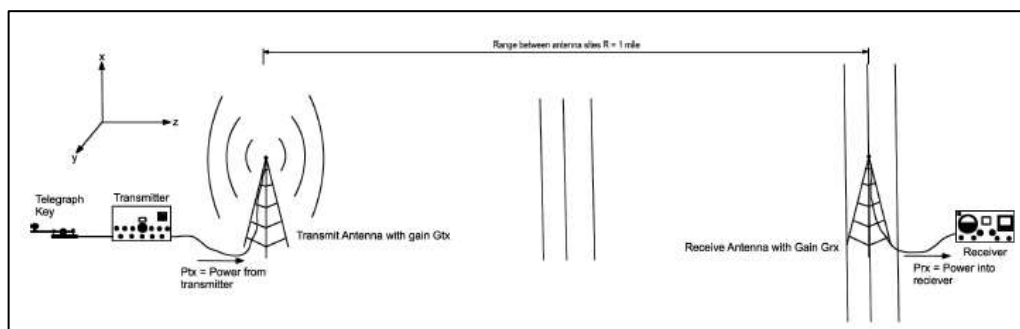


Figura 2-1: Funcionamiento de un sistema radar

Fuente: Charvat; 2015, p. 14

1.1.4. Ecuación base para generar un sistema radar

Los radares como funciones principales tienen rastrear, buscar/encontrar y representar la imagen del objetivo, ante todo esto el radar se ve limitado por la intensidad de la señal que el receptor recibe además de otras señales o ruido que se mezclan con la señal original. En la ecuación 2-1 se asume que el transmisor y receptor se encuentran en el mismo lugar. (Mejía, 2017, p.8)

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

Ecuación 2-1:
Ecuación Radar

Donde:

P_r : Potencia de receptor.

- P_t : Potencia transmitida.
- G_r : Ganancia de la antena de recepción.
- G_t : Ganancia de la antena de transmisión.
- λ : Longitud de onda portadora en metros.
- σ : Sección transversal del radar (RCS).
- R: Rango o distancia del radar al blanco en metros.

1.1.5. Clasificación del radar

La clasificación del radar es diversa, por lo cual se explicarán brevemente para conocimiento base, requerido en la investigación.

1.1.5.1. Según el número de antenas

- Mono estático: Es el tipo de radar que cuenta con solo una antena la cual trabaja como transmisor y receptor al mismo tiempo, además su ubicación es estática.
- Biestático: Posee dos antenas una trabaja para la transmisión y otra para la recepción, actuando en igualdad o diferencia de tiempo; la posición sigue siendo estática.
- Multiestático: Toda la información que es recibida proviene de varias antenas las cuales se encuentran estáticas.

1.1.5.2. Según el Blanco

- Radar Primario PSR (Primary Surveillance Radar): Radar que transmite ondas electromagnéticas con tiempos cortos de duración, las mismas que se reflejan sobre los objetos en los que choca, siendo captadas nuevamente por el sistema PSR. La aplicación típica de este radar es para el control del tráfico aéreo. (Alvares R & Shagñay S, 2015, p.28)
- Radar Secundario de Vigilancia SSR (Secondary Surveillance Radar): Radar que envía una señal codificada solicitando identificación del objeto. El objeto responde al poseer un transponder que permite el procesamiento y transmisión de las señales codificadas. (Alvares R & Shagñay S, 2015, p.28)

El conocer estos tipos de radares es importante ya que PSR requiere de un transmisor y un receptor para poder detectar el objeto, más usados en el ámbito de la vigilancia y búsqueda. Los SSR además de un transmisor y un receptor necesitan un transponder donde el equipo procese y transmita la señal, permitiendo el uso adecuado del tráfico aéreo comercial.

1.1.5.3. Según su forma de Onda

- Radar de onda continua: Transmite la señal continua y utiliza la teoría del Efecto Doppler para determinar la posición y velocidad del objeto en análisis.
- Radar de onda Pulsada: Transmite de forma periódica un pulso, que puede ser modulada o no.

1.1.5.4. Según su Finalidad

- Radar de Seguimiento: Tiene la capacidad de seguir el movimiento de un blanco.
- Radar de Búsqueda: Muestra los blancos explorando todo el espacio.

1.1.6. Banda de frecuencia para radar

Un sistema radar trabaja en diferentes frecuencias, dependiendo de la aplicación. La IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) ha asignado bandas con letras. (Alvares R & Shagñay S, 2015, p.30).

Las frecuencias de las bandas VHF, UHF y L, son utilizadas para radares de exploración y búsqueda. Seguidamente en las frecuencias L, S, C, se aplica para búsqueda y seguimiento de objetos. En la banda C y X permite controlar el fuego y obtener imágenes. Finalmente, en las frecuencias X, Ku, K, Ka y W, trabajan para la detección de misiles. (Alvares R & Shagñay S, 2015, p.35)

La banda S con rango de 2 a 4 GHz será la más óptima en uso para el proyecto de titulación, debido a que la frecuencia de corte está dentro del rango, así como el rango de operación de la tarjeta USRP la cual será definida en incisos posteriores.

1.2. Software Defined Radio (SDR)

El término “Software Defined Radio” fue acuñado por Joseph Mitola III en 1991 para referirse 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. De esta forma se puede definir SDR como una radio sustancialmente definida por software y cuyo comportamiento en la capa física puede ser significativamente alterado a través de cambios en dicho software, reduciendo al mínimo el hardware utilizado. (García, D & Riera, J, 2012, p. 1)

1.2.1. Arquitectura SDR

La arquitectura SDR ha evolucionado a lo largo de los años, pero se basa en una estructura común, como lo muestra la figura 3-1, la cual se compone de tres bloques funcionales: sección de RF, sección de FI, sección de Banda Base

La primera sección de la figura 3-1, de RF o también llamada RF Front-End, es la encargada de recibir las señales a través de la antena para adecuarlas y convertirlas a frecuencia intermedia. En la siguiente sección, la de FI, se digitaliza la señal y se traslada de forma digital a banda base gracias al módulo DDC. En la sección final, la de Banda Base, se lleva a cabo todo el procesamiento digital de la señal a través de software o programas específicos. (García, D & Riera, J, 2012, p. 1)

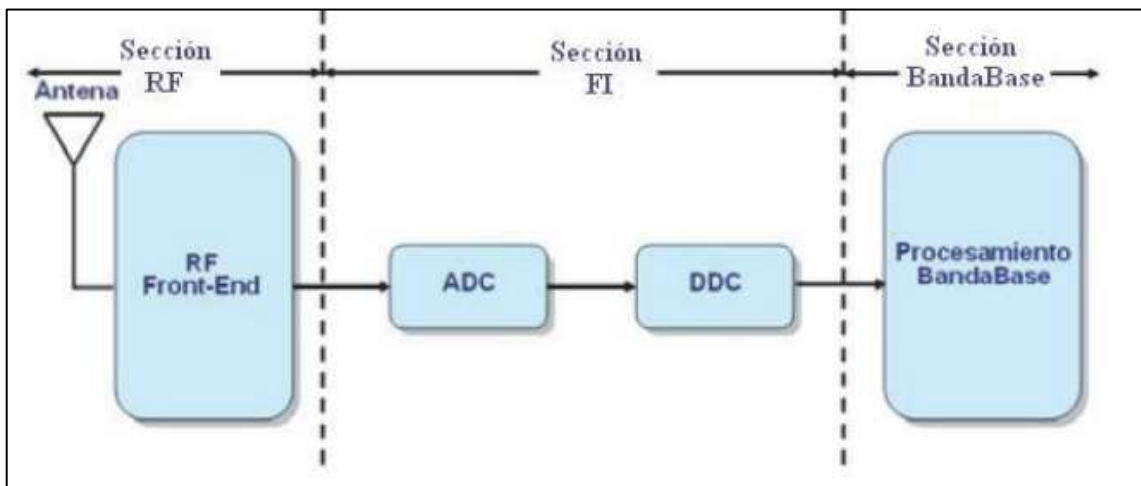


Figura 3-1: Diagrama de bloques funcional de un receptor SDR

Fuente: García, D y Riera, J, 2012, p.1.

La idea principal de la arquitectura se basa en que las etapas de conversión analógico a digital estén lo más cerca posible a la antena, dejando las mínimas etapas analógicas posibles, como son la alimentación de la antena, filtrado y combinación en RF, pre-amplificación, amplificación, y generación de la frecuencia de referencia, que no pueden ser realizadas de forma digital. (García, D & Riera, J, 2012, p. 1).

1.2.2. Señales para trabajo SDR

La señal radar a utilizar depende de la aplicación del mismo. Las formas de onda de radar más utilizadas según son:

- Pulso corto
- Onda continua (CW)

- Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM)
- Onda continua modulada en frecuencia (FMCW)
- Onda continua de frecuencia escalonada (SFCW)
- Pulso Chirp (frecuencia lineal modulada (LFM).

Para usos prácticos de la presente tesis se usará FMCW.

1.2.2.1. Onda continua modulada en frecuencia (FMCW)

La principal diferencia de estos sistemas con respecto a los tradicionales sistemas CW (Onda continua), radica en que los radares FMCW 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. (Merchán,2016, p.17)

Gracias a la modulación en frecuencia se obtiene la capacidad de medir distancias, ya que dicha modulación proporciona una referencia temporal, a esta modulación 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. (Merchán, 2016, p.17)

1.2.3. Proceso de transmisión y recepción de señal con tecnología SDR

El sistema genera principalmente señales OFDM, las demodula y controla los componentes de radio. La señal OFDM generada está en forma de muestras digitales en fase (I) y cuadratura (Q). Interpolación, filtrado digital, algoritmos de reducción de relación de potencia máxima a media (PARP) y la conversión ascendente de frecuencia intermedia digital (IF), son aplicadas a las señales I/Q antes que al convertidor digital a analógico (DAC). Consecuentemente, DAC convierte la señal digital OFDM en la forma de onda analógica correspondiente. La señal IF a la salida del DAC se convierte ascendentemente a la etapa RF, para ser enviada por el Front-End a través de una antena.

En el receptor la señal RF recibida se filtra eliminando señales no deseadas. Enseguida la señal es amplificada usando un amplificador de bajo ruido (LNA), para luego seguir el proceso inverso de la etapa de transmisión y obtener la señal (Arslan, 2007, p.114)

1.2.4. SDRadar

Software Defined Radar (SDRadar) es una tecnología de radar novedosa debido a la posibilidad de realizar la mayor parte de las operaciones básicas como la mezcla, el filtrado, la modulación y demodulación, con módulos de software fáciles de identificar sin la necesidad de adquirir hardware para lograr resultados similares. (Veloz, 2018; p.18)

Una de las ventajas principales de utilizar SDRadar es la disminución de recursos económicos innecesarios y aumentarla eficiencia del sistema, ya que la generación de la señal y los parámetros de procesamiento de señal se pueden realizar en software de simulación y ser modificados fácilmente según las necesidades del proyecto para cumplir con el objetivo trazado. Lo que lleva a ventajas como: (Veloz, 2018; p.18)

- Capacidad para crear "radares multipropósito".
- Capacidad para reutilizar el hardware.
- Fácil implementación del procesamiento de la señal.
- Reducción considerable de los costes de producción.

SDRadar se convierte finalmente en un módulo programable de bajo costo, que puede ser configurado para el desarrollo de cualquier tipo de radar (Costanzo, 2013, p. 147).

1.2.5. Generación de señales radar

1.2.5.1. Onda de transmisión

Las ondas transmitidas sin un procesamiento previo son muy usadas en aplicaciones de señales, para el caso de ejemplo se utilizó una función coseno ecuación 4-1, al ser una señal análoga; para el método de gráfico de onda se utilizó MATLAB con un vector tiempo y una frecuencia de muestreo ecuación 3-1:

$$fs = 2 * fmax$$

Ecuación 3-1:

Frecuencia de muestreo.

Siendo la señal transmitida:

$$V_t(t) = V_0 \cos(2\pi ft + \phi_0)$$

Ecuación 4-1:

Ecuación señal enviada.

Donde:

$f = \text{frecuencia}$

$t = \text{tiempo}$

$\phi_0 = \text{Angulo de desfase}$

Como se observa en la figura 4-1 la onda describe una curva continua, la cual es la grafica de la función matemática coseno que oscilando dentro de un rango a una cierta frecuencia. Como una onda electromagnética.

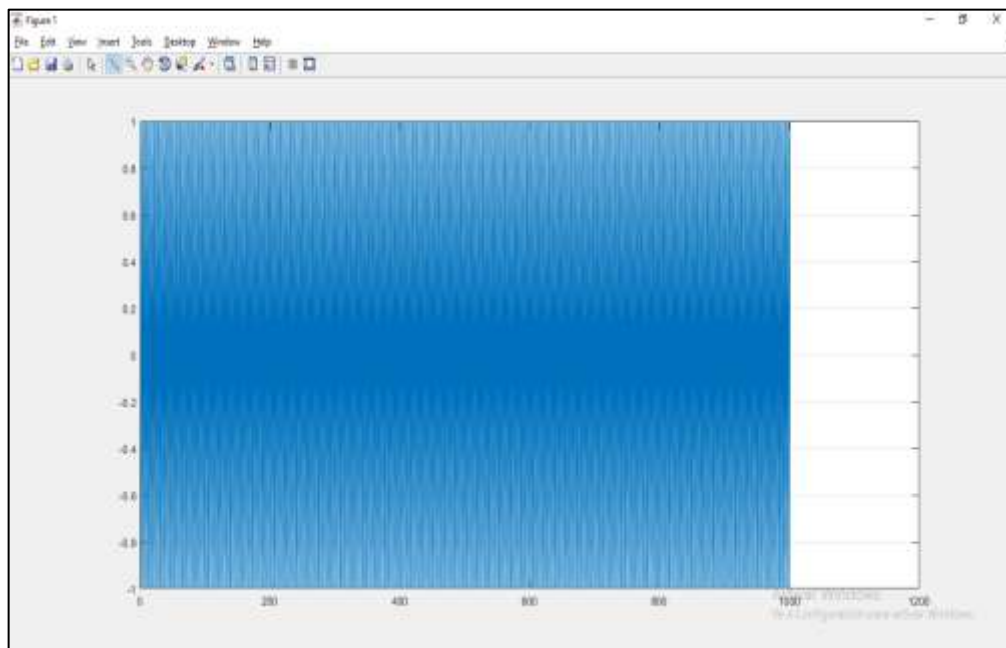


Figura 4-1: Señal transmitida simple

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

1.2.5.2. Onda de recepción

La onda que se transmite, figura 5-1, se propaga en el espacio libre, choca contra un objeto, el mismo que refleja la onda, genera un desfase y un retardo de tiempo, cuyos valores se describen en la ecuación 5-1.

$$V_r(t) = V_0 \cos(2\pi f(t - 2t_r) + \phi_0) \mu(t - 2t_r)$$

Ecuación 5-1:
Ecuación señal recibida.

Donde:

$t_r = \text{Retardo de la señal}$

$\phi_0 = \text{Desfase}$

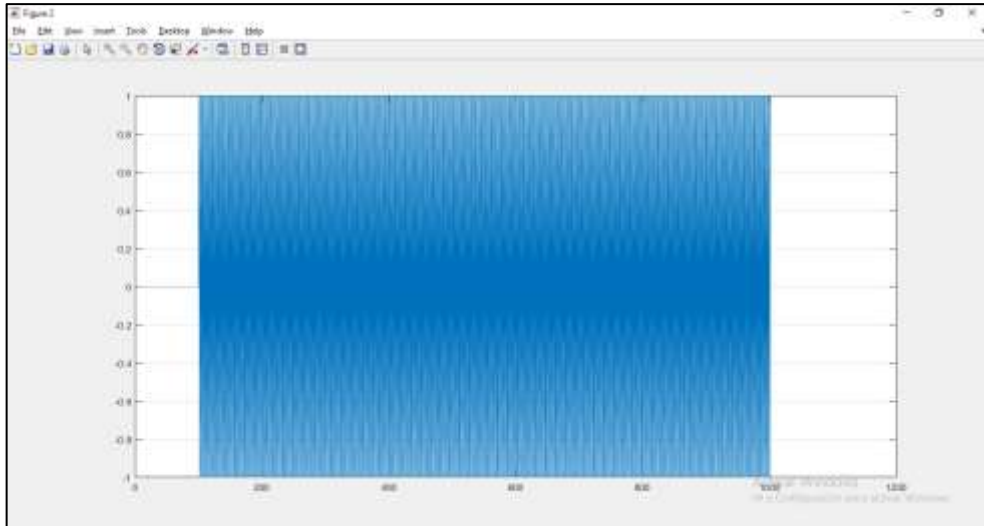


Figura 5-1: Señal recibida simple
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020

1.2.5.3. *Detección de objeto*

La teoría del radar indica que para la detección de la posición de un objeto es necesaria la multiplicación de las señales transmitida y recibida considerando un tiempo de origen común para las dos y cuya solución es la multiplicación de las señales correspondientes a las ecuaciones 6-1 se genera la señal final: (Alvares R & Shagnay S, 2015, p.32)

$$V_f(t) = V_t * V_r$$

Ecuación 6-1:

Multiplicación señal transmitida y recibida.

1.2.6. *Señal Chirp*

Esta señal Chirp cambia su frecuencia en un periodo determinado de tiempo. La frecuencia de la señal chirp puede variar desde una frecuencia baja a una alta (up-chirp) o desde una frecuencia alta a una baja (low-chirp). La grafica 6-1 muestra una señal up-chirp. (Alvares, R & Shanay, S., 2015, p.34)

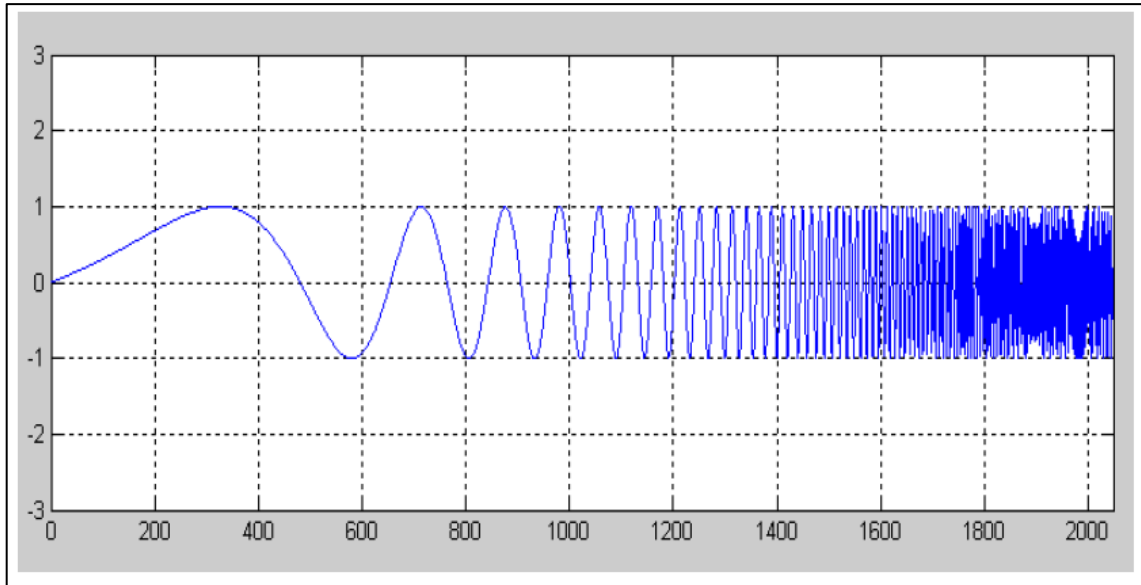


Figura 6-1: Señal chirp
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

1.2.6.1. Señal transmitida

La señal que se genera posee una amplitud A , frecuencia que varía con el tiempo y fase constante, la misma que está dada por la ecuación 7-1:

$$V_t(t) = V_0 \cos(2\pi f(t)t + \phi_0)$$

Ecuación 7-1:
 Señal chirp transmitida.

Siendo $f(t)$ la función de la frecuencia variante en el tiempo y que viene dada por, la ecuación 8-1.

$$f(t) = \frac{k}{2}t + f_0$$

Ecuación 8-1:
 Función de la frecuencia variante en el tiempo.

Donde, k es la rapidez con que cambia la frecuencia y se expresa en la ecuación 9-1 y figura 7-1.

$$k = \frac{(f_1 - f_0)}{(t_{max} - t_0)}$$

Ecuación 9-1:
 Rapidez con que cambia la frecuencia.

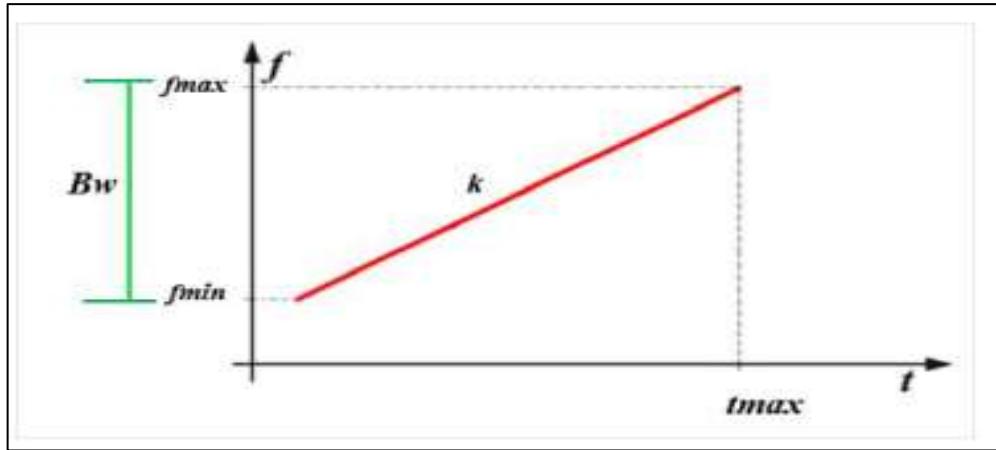


Figura 7-1: Relación de k , con respecto al tiempo máximo y ancho de banda
Fuente: Serrano, María E.; 2017, p.16.

Donde la f_0 es la frecuencia inicial de la onda, y f_1 la frecuencia al final de la duración de tiempo, figura 8-1.

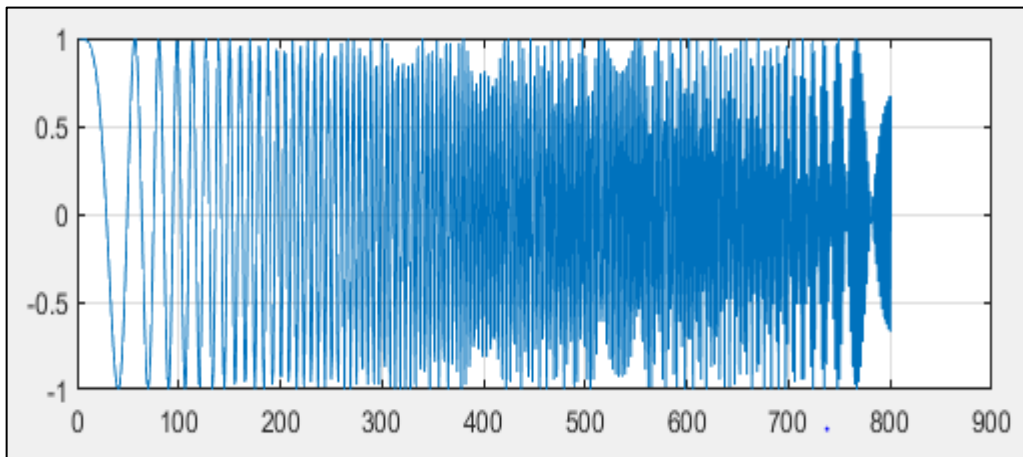


Figura 8-1: Señal chirp transmitida
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

1.2.6.2. Señal recibida

La señal recibida es similar a la transmitida, figura 9-1, con la variedad de que esta tiene un retardo en el tiempo. La ecuación 10-1 muestra dicha descripción tomando en cuenta que no existen pérdidas en el espacio.

$$V_r(t) = V_0 K \cos \left(2\pi \left(\frac{k}{2}(t - 2t_r) + f_0 \right) (t - 2t_r) + \phi_0 \right) \mu(t - 2t_r)$$

Ecuación 10-1: Señal chirp recibida.

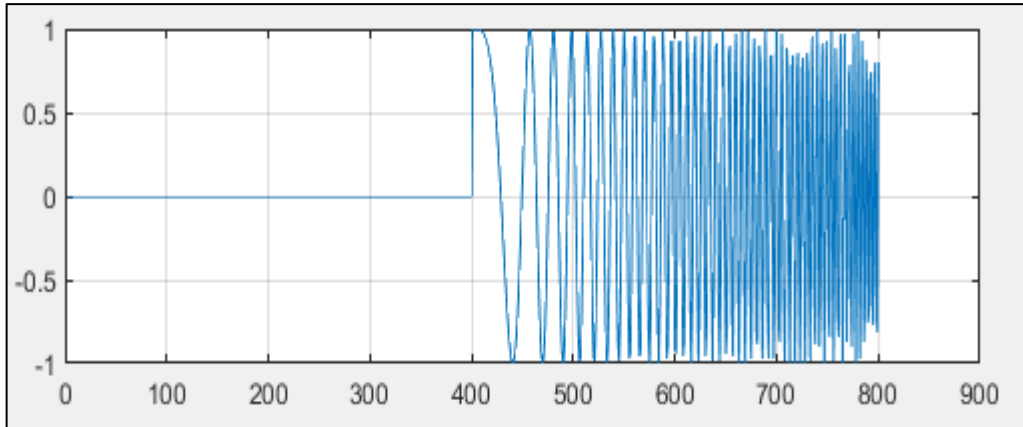


Figura 9-1: Señal chirp recibida
 Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

1.2.6.3. *Detección de objeto señal chirp*

Con lo mencionado anteriormente, es necesario multiplicar la señal transmitida con la señal recibida para así obtener el resultado final el cual posteriormente será la base para encontrar el radargrama necesario, ecuación 11-1 y gráfico 10-1.

$$V_f(t) = V_0 \cos(2\pi f(t)t + \phi_0) * V_0 K \cos\left(2\pi\left(\frac{k}{2}(t - 2t_r) + f_0\right)(t - 2t_r) + \phi_0\right) \mu(t - 2t_r)$$

Ecuación 11-1: Señal chirp multiplicada.

Aplicando la transformada rápida de Fourier FFT se obtiene el espectro de amplitud, figura 11-1, donde los picos del espectro están relacionados con la posición del objetivo conocido como Radargrama. Se determina la distancia del objetivo relacionando la frecuencia muestreada con la distancia. (Alvares R & Shanay S., 2015, p.38).

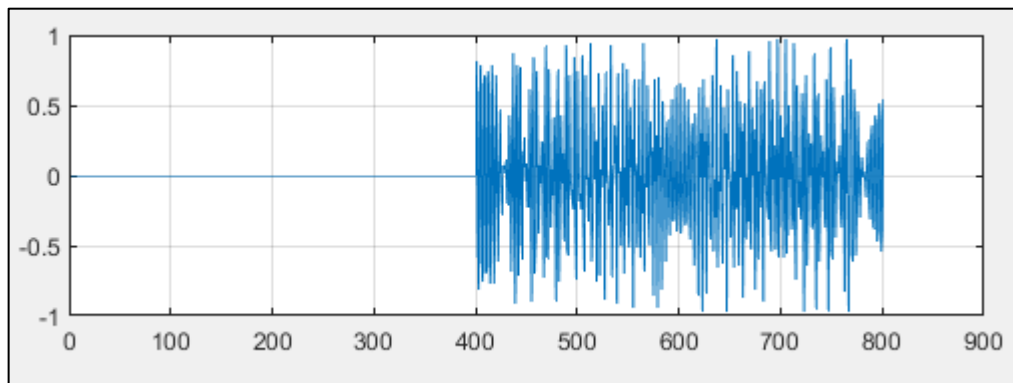


Figura 10-1: Señal chirp multiplicada
 Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

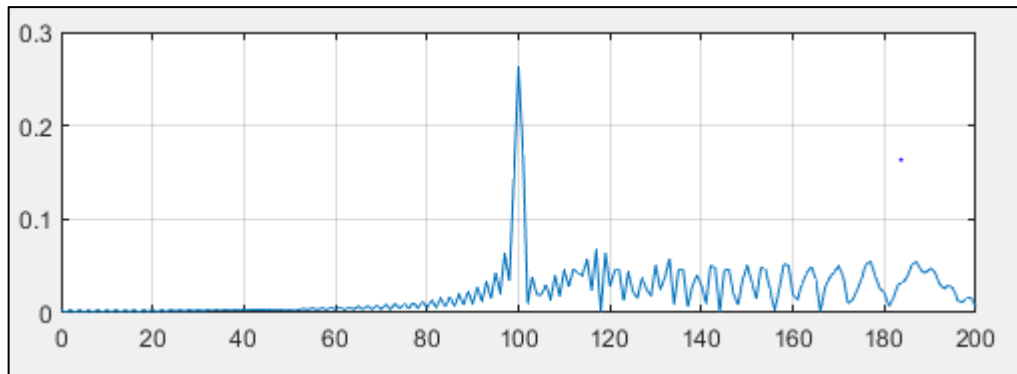


Figura 11-1: Transformada de fourier señal chirp (Radargrama)
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

1.3. Tarjeta USRP

Universal Software Radio Peripheral o Periférico Universal de Software de Radio (USRP) es una placa flexible de diseño abierto y bajo costo para la implementación de radio definida por software. El hardware está respaldado por un marco de software de código abierto desarrollado dentro del proyecto de Radio GNU.

La USRP puede recibir y transmitir simultáneamente en dos antenas en tiempo real. Todos los relojes de muestreo y los osciladores locales son totalmente coherentes, lo que le permite crear sistemas MIMO (entrada múltiple, salida múltiple). En la USRP, el procesamiento de alta velocidad de muestreo se lleva a cabo en el arreglo de compuerta programable de campo (FPGA), mientras que en la computadora host se produce un procesamiento de frecuencia de muestreo inferior.

Los convertidores descendentes digitales embarcados (DDC) mezclan, filtran y diezman (desde 64 MS/s) las señales entrantes en el FPGA. Dos convertidores ascendentes digitales (DUC) interpolan señales de banda base a 128 MS/s antes de traducirlas a la frecuencia de salida seleccionada. Los DDC y DUC combinados con las altas frecuencias de muestreo también simplifican en gran medida los requisitos de filtrado analógico. Las placas de conexión montadas en el USRP proporcionan frontales de RF flexibles y totalmente integrados. (Serrano, 2019, p.25)

1.3.1. Tarjeta USRP-2932

La USRP-2932 ofrece rangos de frecuencia de 400 MHz hasta 4.4 GHz con hasta 20 MHz de ancho de banda instantáneo. También está disponible un oscilador disciplinado por GPS (GPSDO) para temporización y sincronización de alta precisión, y tiene una comunicación a través de Gigabit Ethernet., tabla 2-1, tabla 3-1 y tabla 4-1.

Los Dispositivos de Radio Definido por Software permiten crear aplicaciones inalámbricas avanzadas con LabVIEW, haciendo posible la rápida generación de prototipos. Ejemplos de aplicaciones de generación de prototipos incluyen radio FM, detección de dirección, grabación y reproducción de RF, radar pasivo y simulación de GPS. La arquitectura SDR, típicamente incluye procesadores, FPGAs y RF (radio frecuencia), (ver ANEXO A). (National Instruments, 2017a, p.1).

1.3.1.1. Características NI USRP-2932

A continuación, se detallarán las características que posee la tarjeta USRP-2932.

La tarjeta USRP-2932, tiene una frecuencia central sintonizable de 400 MHz a 4.4 GHz que cubre el radar de banda celular, GNSS, WiFi y L. Su GPS integrado mejora la precisión del reloj, permite la sincronización y posición global del dispositivo. La transmisión de ancho de banda I / Q (muestran los cambios en la magnitud o amplitud y la fase de una onda sinusoidal) de banda base, es de hasta 40 MHz a 50 MS/s para procesamiento basado en host con NI LabVIEW.

Además, usa el controlador NI-USRP, el módulo MathScript RT y el Toolkit de Modulación, para la ejecución de archivos .m en LabVIEW, la tarjeta es observada en la figura 12-1. (National Instruments, 2017c, p. 3).

Tabla 1-1: Características del transmisor USRP-2932.

Rango de frecuencias	400 MHz a 4.4 GHz
Paso de frecuencia	<1 kHz
Potencia máxima de salida	50 mW a 100mW (17dBm a 20 dBm)
Rango de ganancia	0 dB a 31 dB
Paso de ganancia	0.5dB
Ancho de banda máximo instantáneo de tiempo real	
Ancho de muestra 16-bits	20 MHz
Ancho de muestra 8-bit	40MHz
Velocidad de muestreo máxima I/Q	
Ancho de muestra 16-bits	25MS/s
Ancho de muestra 8-bit	50MS/s
DAC	2 canales, 400Ms/s, 16bits
DAC spurious-free dynamic range (sFDR)	80 dB

Fuente: National Instruments, 2017c, p. 2

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020

Tabla 2-1: Características del receptor USRP-2932.

Rango de frecuencias	400 MHz a 4.4 GHz
Paso de frecuencia	<1 kHz
Rango de ganancia	0 dB a 31.5 dB
Paso de ganancia	0.5 dB
Máxima potencia de entrada (P_{in})	0 dBm
Figura de ruido	5dB a 7 dB
Ancho de banda máximo instantáneo de tiempo real	
Ancho de muestra 16-bits	20MHz
Ancho de muestra 8-bit	40MHz
Velocidad de muestreo máxima I/Q	
Ancho de muestra 16-bits	25MS/s
Ancho de muestra 8-bit	50MS/s
Convertor analógico-digital (ADC)	2 canales, 100Ms/s, 14bits

Fuente: National Instruments, 2017c, p. 2

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Tabla 3-1: Características del oscilador disciplinado GPS USRP-2932 (GPSDO).

Precisión de frecuencia	
OCXO (no bloqueado a GPS)	25 ppb
OCXO (bloqueado a GPS)	10 ppb
Antena activa	
Voltaje	5 V
Potencia	0.7 W

Fuente: National Instruments, 2017c, p. 2

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Debido a su conexión a través de su puerto de ethernet Gigabit, la velocidad de transferencia de datos se eleva considerablemente, respecto a anteriores modelos. Es así que la frecuencia de muestreo del host (I/Q), es de 25 MS/s con muestras de 16 bits, pero debido a que la NI USRP-2932, ofrece también la opción de transmitir muestras de 8 bits, con lo cual, el ancho de banda se duplica efectivamente, en términos de muestras por segundo (MS/s), 40 MHz, que se traducen en 50 MS/s. (Ettus Research, 2016; National Instruments, 2017b, p. 2).

La comunicación es full-dúplex, que significa que la interfaz puede transmitir en ambas direcciones, a las velocidades especificadas simultáneamente. Algunas interfaces, como la USB 3.0, no proporcionan rutas de datos separadas, para transmitir y recibir datos, en cambio utilizan un solo camino en modo semi-dúplex. En este caso, el ancho de banda total de la interfaz se

compartiría entre las funciones de transmisión y recepción de la URSP. (National Instruments, 2017b, p. 2).



Figura 12-1: Tarjeta USRP-2932

Fuente: <https://www.ni.com/en-us/support/model.usrp-2932.html>

1.3.1.2. Limitaciones de la NI USRP-2932

La NI USRP, es un poderoso y eficiente modelo de SDR, también posee algunas limitaciones en el ambiente de la implementación. El procesamiento de la señal excepto la conversión up/down y la ejecución son realizados por el computador, es por eso que un computador, un CPU y una gran memoria es requerida, especialmente cuando se procesa una extensa banda de frecuencias, figura 13-1. (Serrano, 2019, p.18)

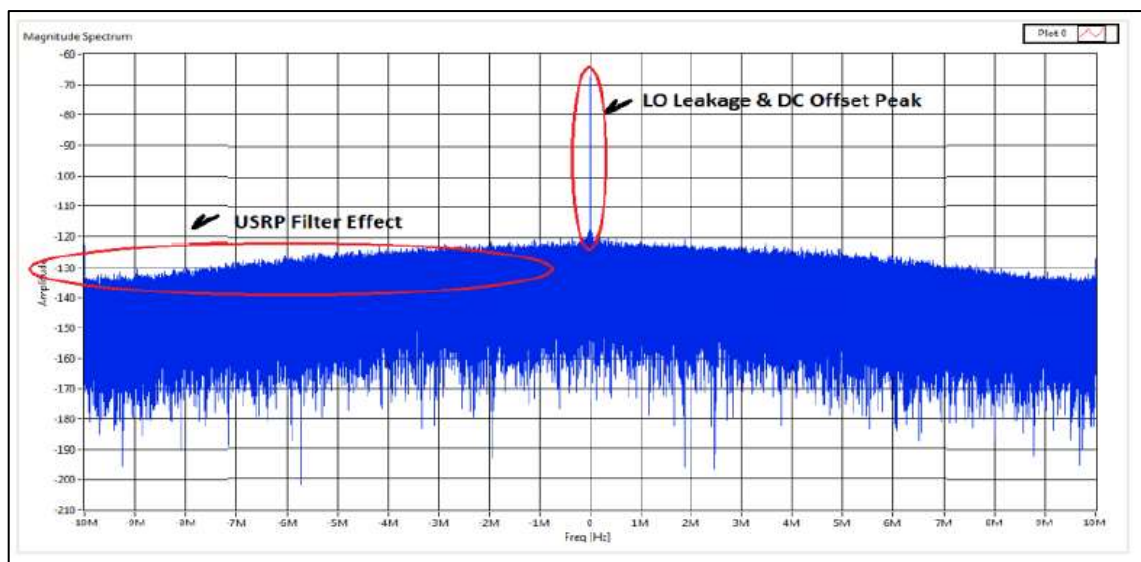


Figura 13-1: Espectro de frecuencia observado por un receptor USRP, con un ancho de banda de 20 MHz cuando ninguna señal e conectada en la entrada.

Fuente: Serrano; 2018, p. 33

Otra limitación del modelo de USRP, trabajando a la par con LabVIEW, es muy sensible a la fuga de LO (Local Oscillator Leakage), y la compensación DC (Digital Current Offset), que introduce un pico muy agudo, a la frecuencia de 0 Hz. Estas dos limitaciones causan retos para implementar algoritmos que aspiran para encontrar una señal débil, en un rango de frecuencia amplio, como la detección de espectro (Testmart, 2017, p.13).

1.4. Sistemas Radiantes

Los sistemas radiantes son considerados como la etapa final de un sistema de transmisión, el cual es el encargado de radiar la energía que se suministra por el transmisor (Tx), la cual lleva información que debe llegar a los receptores (Rx). Es considerado un elemento crítico ya que un buen sistema radiante asegura una emisión óptima, llegando a todos los destinatarios que requieren de la cobertura. (Bone, 2018; p.50)

Para los sistemas radiantes es de gran importancia las características que poseen las antenas usadas en la implementación, es decir, su frecuencia, polarización, ganancia, diagrama de radiación etc. Otorgando así varias ventajas donde se vaya a ejecutar la emisión.

1.4.1. Sistemas Radiantes con Radar

Un sistema radiante como se menciona es una fase crítica en la emisión de una señal, para el uso de radares una correcta selección de equipos y proceso es necesario para un funcionamiento óptimo del mismo.

En el trabajo de titulación se realizará un uso de dos sistemas radiantes para caracterizar los terrenos de análisis, con diversidad en antenas, directividad, potencia de antenas, obteniendo así los resultados que son deseados.

1.5. Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV)

Un dron se lo puede definir como un vehículo aéreo no tripulado (VANT, o su nombre en inglés UAV Unmanned Aerial Vehicle), capaz de mantener un nivel de vuelo controlado y sostenido. Pueden estar controlados remotamente desde tierra por operadores o ser autónomos siguiendo una trayectoria previamente definida, figura 14-1. (Tacuri J, Olmedo W., 2019, p.6).



Figura 14-1: UAV (Vehículo Aero no Tripulado)

Fuente: <http://us.yuneec.com/hd-racer>

Estos vehículos no tripulados tuvieron un origen militar, eran manejados mediante radio control y se los usaba para practica de tiro, para las unidades antiaéreas del ejército. Pero con el pasar de los años se fueron implementando sistemas complementarios como cámaras de video las cuales permitían realizar reconocimientos de terrenos; con el avance de la tecnología estos fueron sufriendo cambios muy grandes y rápidos, los cuales permitieron que los UAV sean capaces de realizar otro tipo de tareas. Actualmente, el uso comercial de UAV ha tenido un gran crecimiento, debido a la implementación de diferentes tecnologías, las cuales los hacen capaces de realizar tareas sin necesidad de tener una persona al mando, esto ha permitido que esta industria crezca y alcance gran popularidad dentro de un gran número de actividades. (Tacuri J, Olmedo W., 2019, p.6).

1.5.1. Uso de UAV

1.5.1.1. Militar

Son aquellos de uso exclusivo militar que sirven para espionaje, reconocimiento o equipados con armas para realizar ataques. Generalmente estos están equipados con sistemas de alta tecnología que permiten que su radio de acción sea muy grande, además que alcanzan grandes velocidades, y posean gran precisión en su localización. (Tacuri J, Olmedo W., 2019, p.7).

1.5.1.2. Civil

Son aquellos que usan las personas para realizar varias actividades desde simple juguetes, tomas de imágenes hasta aplicaciones áreas como la agricultura, ingeniería, cartografía, etc. Estos han tenido una gran acogida, ya que estos permiten tomar fotos y realizar videos, desde una vista aérea

logrando así una experiencia nueva para los usuarios. Además, por estas mismas razones, su uso en varias actividades, que necesiten una recolección de datos e información. (Tacuri J, Olmedo W., 2019, p.7).

1.5.2. Aplicaciones

Dentro del ámbito civil, los UAV se utilizan en diferentes sectores. (Elika, 2001; pp.1-2).

- Inspección de infraestructuras
- Topografía
- Gestión de riesgos y desastres naturales (incendios, etc.)
- Exploración de lugares de difícil acceso: cuevas, precipicios, etc.
- Monitorización de sistemas de energía eólica
- Filmación de películas y fotografía deportiva
- Control medioambiental
- Localización de bancos de pesca
- Caza y control de caza
- Investigación de la vida salvaje
- Medios de comunicación y entretenimiento
- Movilidad y Tráfico
- Control y análisis de multitudes: Manifestaciones, conciertos, etc.
- Agricultura

1.5.2.1. Geología

Con los drones dentro de este campo se trabaja en GIS (Geographic Information System) por sus siglas en inglés y Cartografía Geológica como se muestra en la Figura 15-1, mediante estos es posible adquirir imágenes actuales y en un tiempo mucho más corto para poder de esta manera actualizar y elaborar modelos tridimensionales en terrenos (Melinton, 2017, p11)

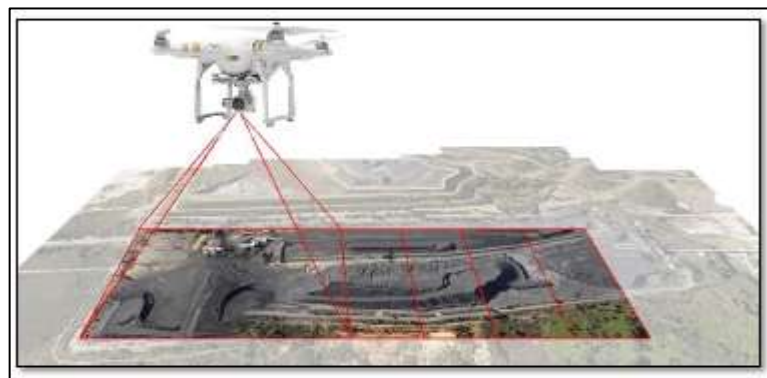


Figura 15-1: Uso de UAV en geología.

Fuente: <http://www.terranalisis.cl/es/topografia-aerea/rpas.htm>

1.5.2.2. *Agricultura y ganadería*

En el campo de la ganadería los UAV ayudan en el pastoreo de ovejas o vigilancia del ganado, mientras que en la agricultura ayudan a la recolección de datos para determinar si los cultivos requieren de agua o fumigación, como se observa en la Figura 16-1. Otro uso es que por medio de cámaras infrarrojas o multiespectrales se pueda notar la presencia de plagas o resequeidad en los cultivos. (Melinton, 2017, p. 11)



Figura 16-1: Monitoreo de humedad en cultivos con un drone.

Fuente:http://www.teinteresa.es/espana/Agricultura-precision-tecnologia-aplicada-cosecha_0_1021698253.html

1.5.2.3. *Medio Ambiente*

Permiten la manipulación, limpieza y estudio de materiales nocivos para la salud de las personas. Por ejemplo, en la central de Fukushima en Japón fueron utilizados los drones para obtener una vista precisa del interior del reactor nuclear con el objetivo de elaborar un plan de limpieza y prevención de futuras fugas. Por lo que también pueden usarse para acceder a zonas en las que ningún ser humano podría tolerar dado el alto índice de radiación en el área (Melinton, 2017; p10).

Otro uso en esta área es para poder monitorear la actividad de los volcanes reuniendo datos de la ceniza y los gases expulsados, como se presenta en la Figura 17-1. La NASA envió drones sobre la nube de dióxido de azufre nocivo del volcán activo Turrialba en Costa Rica, con esto se crearon mapas de concentración de gases volcánicos y mejorar los modelos informáticos que contribuyen a nuevas predicciones del clima y riesgos ambientales para quienes viven cerca de los volcanes (Melinton, 2017; p 10).



Figura 17-1: Seguimiento de lava en una explosión volcánica.

Fuente: <http://www.escalofrio.com/videos/dron-sobrevolando-rio-de-lava/>

1.5.3. *Matrice 600 (M600)*

Matrice 600 (M600) es la nueva plataforma de tecnología de vuelo de la compañía DJI's diseñada con un enfoque de fotografía aérea profesional y aplicaciones industriales como lo muestra la figura 18-1. Es diseñado para integrarse estrechamente con una gran cantidad de potentes tecnologías DJI, incluido el controlador de vuelo A3, la transmisión Lightbridge 2 sistema, baterías inteligentes y sistema de gestión de baterías, para un rendimiento máximo y una configuración rápida. (DJI, 2020., p1)

El M600 posee una estructura rígida e inteligente para montura de cámaras sofisticadas, este hecho proporciona la posibilidad de montar un equipamiento con una carga útil máxima de 6 Kg.

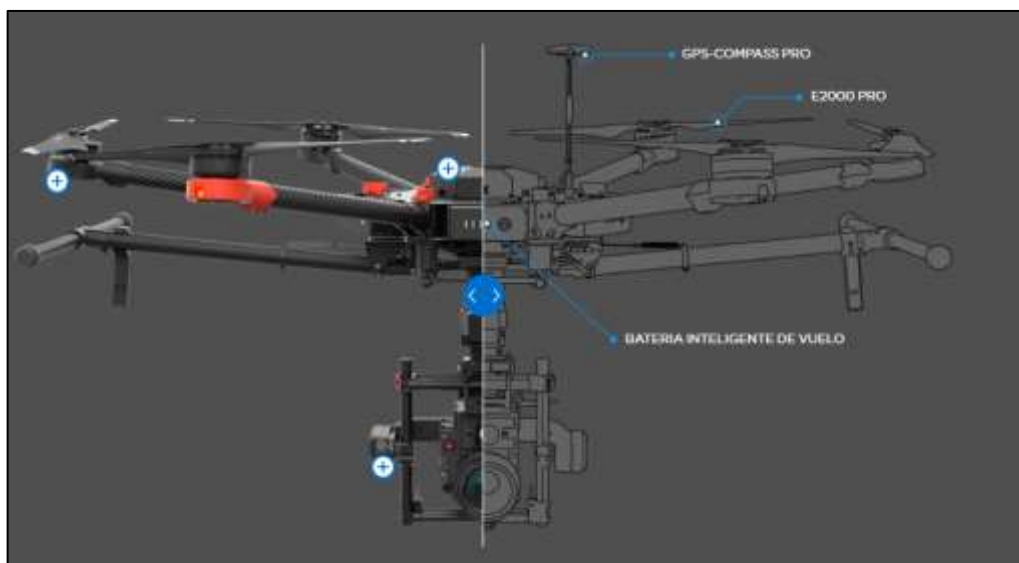


Figura 18-1: Matrice 600

Fuente: <https://www.dji.com/matrice600>

1.5.3.1. Características Matrice 600

El M600 utiliza un controlador de vuelo A3 Pro el cual tiene algoritmos de diagnósticos y redundancia triple, los cuales comparan datos del sensor de los tres conjuntos de unidades para asegurar que el M600 tenga un vuelo como es el esperado, esta configuración puede ser observada en la figura 19-1.

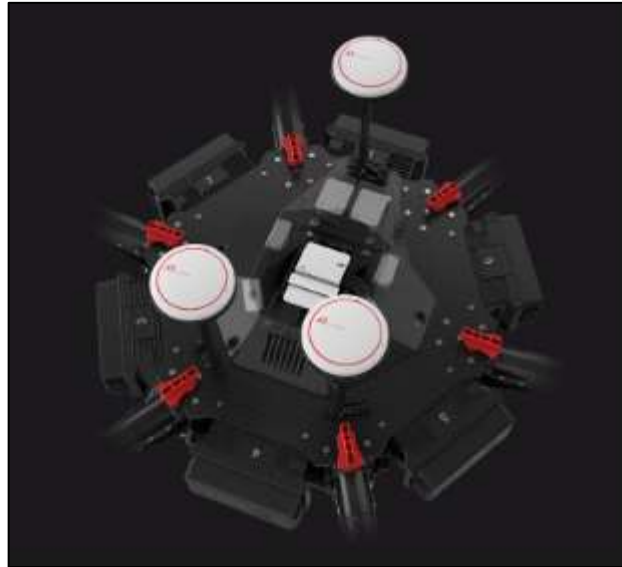


Figura 19-1: A3 Pro del M600
Fuente: <https://www.dji.com/matrice600>

EL M600 trabaja con un conjunto de 6 pequeñas baterías inteligentes, lo cual permite ser enviado a una distancia de 5 Km, dando así una autonomía de dispositivo muy óptima. Entre otras características importantes del M600 a tomar en cuenta en el presente trabajo de titulación tenemos los siguientes en la tabla 4-1:

Se debe recalcar que el motor usado por el M600 es un DJI 6010 el cual trabaja a 130rpm/V, el cual es un dato de gran importancia para tomar en cuenta la atenuación de la señal que producirá el UAV, y también el cual trabaja a frecuencias de 30-450Hz.

Tabla 4-1: Características del M600.

Peso (con seis baterías TB47S)	9,5 kg
Peso (con seis baterías TB48S)	10 kg
Peso máximo de despegue recomendado	15,5 kg
Max resistencia al viento	8 m / s

Continuación de la tabla 4-1: Características del M600.

Velocidad máxima de ascenso	5 m / s
Velocidad máxima de descenso	3 m / s

Máxima velocidad	40 mph / 65 km / h (sin viento)
Tiempo de desplazamiento * (con seis baterías TB47S)	Sin carga útil: 32 min, 6 kg de carga útil: 16 min
Tiempo de desplazamiento * (con seis baterías TB48S)	Sin carga útil: 38 min, 5.5 kg de carga útil: 18 min
Sistema de propulsión	Modelo de motor: DJI 6010 Modelo de hélice: DJI 2170R

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Fuente: <https://www.dji.com/matrice600-pro/info#faq>

1.6. Suelos

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas, y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella. (Portillo, 2018., p15).

1.6.1. Composición del suelo

El suelo está formado por varios componentes como rocas, arena, arcilla, humus (materia orgánica en descomposición), minerales y otros elementos en diferentes proporciones. Podemos clasificar los componentes del suelo en: (Portillo, 2018., p.21).

- Inorgánicos, como la arena, la arcilla, el agua y el aire; y
- Orgánicos, como los restos de plantas y animales.

El humus es todo el material orgánico en descomposición que otorga la fertilidad a los suelos. Este se encuentra en las capas superiores y, junto con algunos minerales, se torna de un color amarillento negro, confiriendo alto grado de fertilidad. (Portillo, 2018., p.26).

1.6.2. Características del suelo

1.6.2.1. Características Físicas

- La textura es la que determina la proporción en la que se encuentran las partículas minerales de diversos tamaños que hay presentes en el suelo.
- La estructura es la forma en la que las partículas del suelo se unen para formar agregados.
- La densidad influye en la distribución de la vegetación. Suelos más densos son capaces de sustentar más cantidad de vegetación.
- La temperatura también influye en la distribución de la vegetación, sobre todo en altitud.
- El color depende de sus componentes y varía con la cantidad de humedad presente en el suelo. (Portillo, 2018., p.31).

1.6.2.2. Características Químicas

- Capacidad de intercambio: Se trata de la capacidad que tiene el suelo de poder intercambiar arcilla y humus, cediendo nutrientes a las plantas por medio de la captación de partículas minerales.
- Fertilidad: Es la cantidad de nutrientes que están disponibles para las plantas.
- pH: La acidez, la neutralidad o alcalinidad del suelo. (Portillo, 2018., p35).

1.6.3. Tipos de suelos

Existen gran variedad de tipos de suelos a continuación se detallarán los más importantes para la investigación en curso.

1.6.3.1. Suelo arenoso

Contienen partículas más grandes que el resto de los suelos. Es áspero y seco al tacto porque las partículas que lo componen están muy separadas entre ellas y no mantienen bien el agua, el cual es observado en la figura 20-1. (Bellver, 2019., p.30)



Figura 20-1: Suelo Arenoso

Fuente: <https://tendencias.com/eco/tipos-de-suelos/>

1.6.3.2. *Suelo arcilloso*

Este tipo de suelos está formado por granos finos de color amarillento, arcilla en un 45%, retienen mucho el agua y forman charcos. Si se mezcla con humos es bueno para cultivar. Este tipo de suelos tienen gran poder de retener agua y nutrientes pero una baja porosidad así que es difícil trabajarlos. Su textura y viscosidad hace que las raíces no tengan una adecuada aireación y por lo tanto se pueden pudrir. (Bellver, 2019., p.37)



Figura 21-1: Suelo Arcilloso

Fuente: <https://tendencias.com/eco/tipos-de-suelos/>

1.6.3.3. *Suelo franco*

El suelo franco es uno de los tipos de suelo con mayor productividad agrícola, ya que tiene una proporción de arena, limo y arcilla idónea para los cultivos, su color suele ser negro o una

tonalidad más baja como se aprecia en la figura 22-1. Estos suelos disponen de una composición base la cual puede variar dependiendo condiciones del terreno, se considera que tiene la siguiente composición: (Bellver, 2019., p.36).

- 45% de arena
- 40% de limo
- 15% de arcilla

El suelo franco tiene porcentajes definidos como base, pero bajo varios factores puede variar el porcentaje dando así variaciones como las siguientes.

- Suelo franco-arenoso: Esta variación tiene más arena de lo óptimo. Tienen una textura áspera, y al tener un puñado no se puede moldear. Además, mancha la mano.
- Suelo franco-arcilloso: Esta variación tiene más arcilla de lo que se considera óptimo. La textura es algo más suave que la del franco-arenoso, pero se diferencia de él por el color que es más oscuro, y por poder moldearlo, también deja residuos en las manos.



Figura 22-1: Suelo franco

Fuente: <https://www.jardineriaon.com/suelo-franco.html>

1.7. Matlab

MATLAB combina un entorno de escritorio perfeccionado para el análisis iterativo y los procesos de diseño con un lenguaje de programación que expresa las matemáticas de matrices y arrays directamente. (MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico, 2008).

Este software cuenta con IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) que lo hace amigable en el desarrollo de scripts. El lenguaje “m” es propio de MATLAB, añadiendo que se puede crear interfaz de usuario o GUI, y se puede trabajar en conjunto con otros programas que no usen el lenguaje “m”. Permite crear algoritmos simples o complejos que trabajan con archivos .txt o .dat, entre otros, se le puede dar un diverso uso a este software en el ámbito de las comunicaciones. (MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico, 2008).

MATLAB se puede instalar en sistemas operativos como Unix, Windows, MAC OS, Linux y se da soporte en su página oficial (MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico, 2008).

1.8. LabVIEW

LabVIEW es un software de ingeniería de sistemas para aplicaciones que requieren prueba, medición y control con acceso rápido a información de hardware y datos. (National Instruments, 2019., p.1)

LabVIEW ofrece un enfoque de programación gráfica que lo ayuda a visualizar cada aspecto de su aplicación, incluida la configuración del hardware, los datos de medición y la depuración. Esta visualización simplifica la integración del hardware de medición de cualquier proveedor, representa una lógica compleja en el diagrama, desarrolla algoritmos de análisis de datos y diseña interfaces de usuario de ingeniería personalizadas. (National Instruments, 2019., p.1)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLOGICO

El presente capítulo presenta los procedimientos realizados en la implementación del prototipo para el barrido, análisis superficial y caracterización de suelos áridos y húmedos sin vegetación mediante tecnología SDRADAR, en base al diseño realizado con fundamentos radar para el análisis superficial, el barrido del suelo de forma manual y con uso de UAV (Vehículo aéreo no tripulado), frecuencias tanto inicial como final al hablar de una señal FMCW (Onda continua modulada en frecuencia), tiempos, entre otros parámetros; el sistema se implementó en una tarjeta USRP-2932, adjunta al Matrice 600 (M600), concluyendo con la caracterización de los suelos a través de los datos recolectados en la implementación antes mencionada.

- Como base para iniciar el trabajo se utilizó la investigación bibliográfica, ya que se utilizó datos basados en trabajos previos para realizar la caracterización de suelos en base al código usado en los softwares Matlab y LabVIEW.
- Seguido también, el presente trabajo realiza una investigación experimental, la cual basa sus resultados obtenidos en el análisis de los suelos áridos y húmedos; identificando sus diversas características.

Como lo muestran los objetivos planteados al inicio del trabajo de titulación se han cumplido conforme se ha realizado la investigación, como se muestra en las siguientes fases. En el gráfico 1-2 se observa la secuencia de fases, las cuales componen el presente trabajo de titulación, mientras en el gráfico 2-2, se detallan cada una de las fases de forma ordenada y explicada.

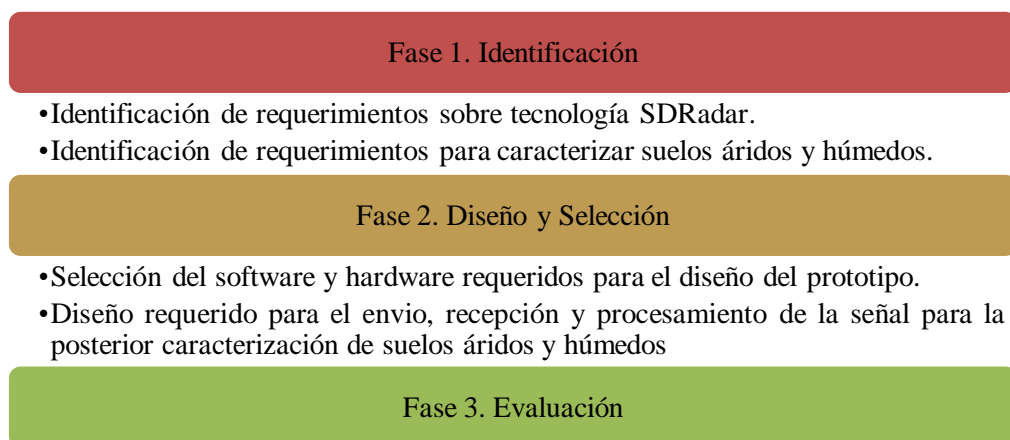


Gráfico 1-2: Etapas para la caracterización superficial de suelos áridos y húmedos.
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

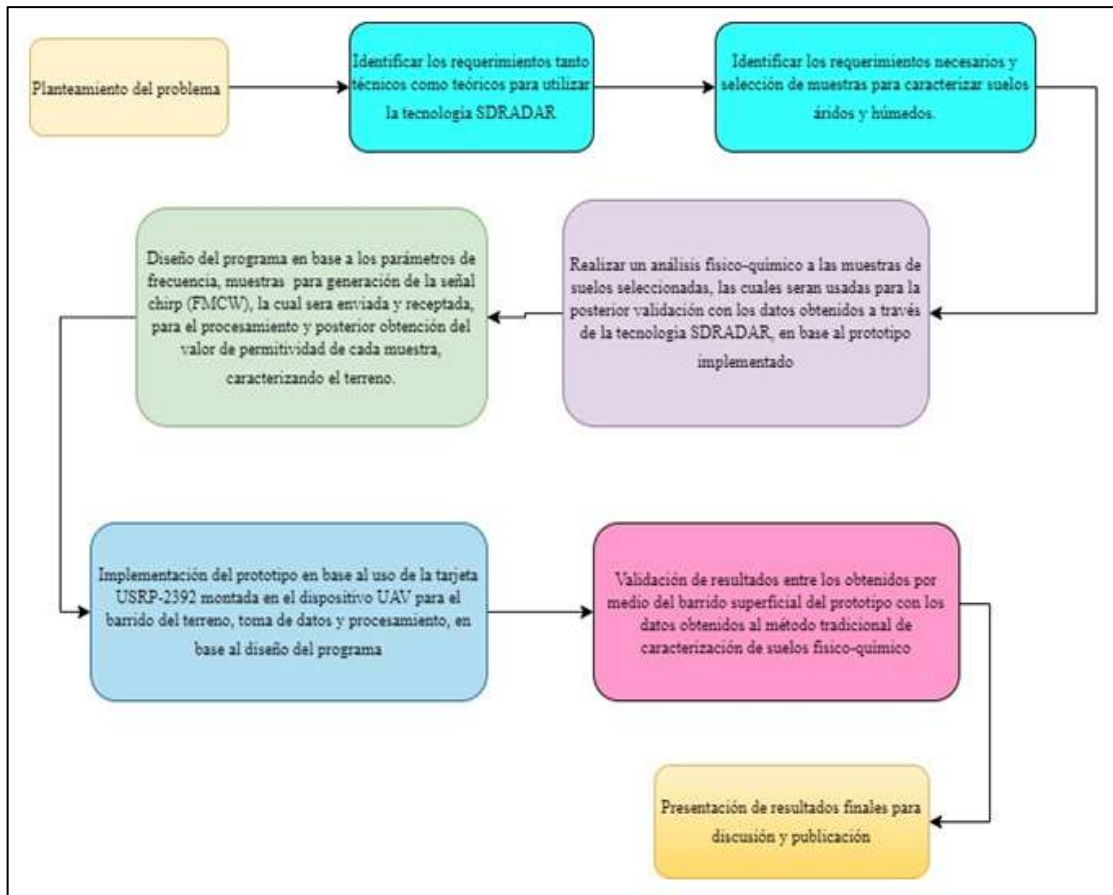


Gráfico 2-2: Secuencia de pasos para la realización del trabajo de titulación
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Para una mejor comprensión sobre la implementación del prototipo y como fue realizado la toma de las señales para ser posteriormente procesadas, y obtener el valor de permitividad la figura 1-2 indica, una vez realizado el diseño del programa en los softwares seleccionados, con sus parámetros de entrada como frecuencia inicial, final y de corte, muestras y ancho de I/Q, se envía la señal a ser transmitida hacia la tarjeta USRP, la cual emite la señal a través de la antena conectada en su puerto de Tx; dicha señal incide de forma normal contra la superficie del suelo, obteniendo el fenómeno de reflexión de la señal la cual es captada por la segunda antena, es decir, la antena Rx conectada en el puerto de la tarjeta, la cual es enviada de vuelta al ordenador para ser almacenada, dicho proceso es repetido por cada punto dentro del área total correspondiente al terreno de estudio; como resultado de salida obtenemos el valor de permitividad relativa de cada muestra de las 75 en total por terreno, basado en la diferencia del coeficiente de reflexión que arroja la multiplicación de la señal Tx con la señal Rx.

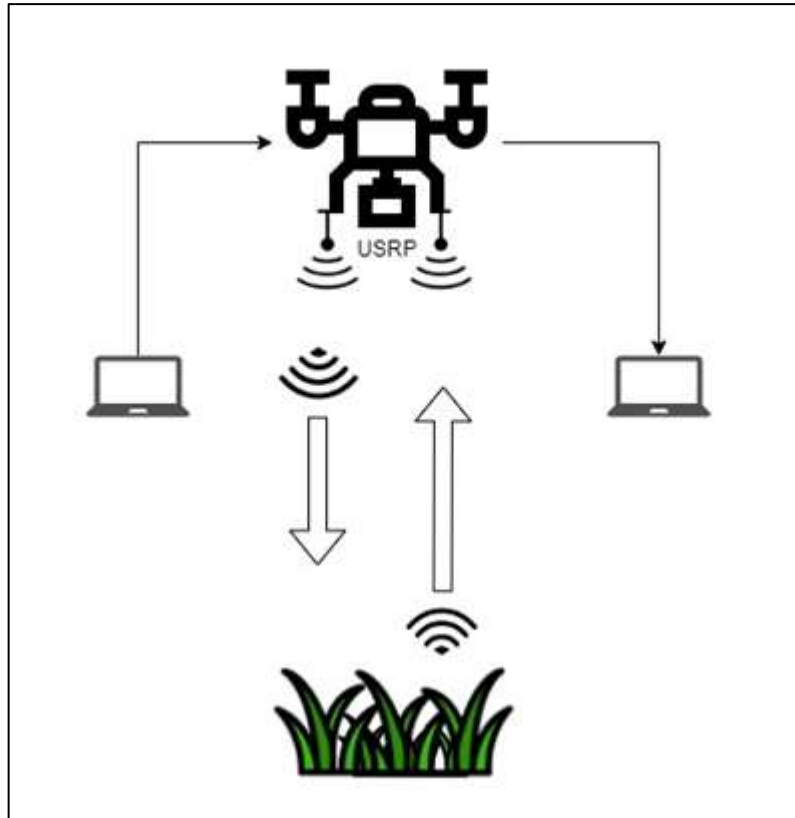


Figura 1-2: Implementación del prototipo.
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.1. Identificación técnica y teórica para tecnología SDR

2.1.1. Resolución máxima

El uso de la tarjeta USRP-2932, posee un ancho de banda máximo instantáneo, de una muestra de 8-bits, de 40 MHz, y para una muestra de 16-bits, de 20 MHz. Además de mencionar que posee muestras complejas I/Q, para una muestra de 8-bits, es de 50MS/s y para una de 16-bits de 25 MS/s. Con la ecuación 1-2 se muestra la resolución del sistema.

$$R = \frac{c}{2(B)}$$

Ecuación 1-2:
Resolución máxima.

Donde:

R: Resolución.

B: Ancho de banda.

c: Velocidad de la luz.

$$R_{8\text{-bits}} = \frac{3 \times 10^8}{2(40 \text{ MHz})} = 3.75 \text{ m}$$

$$R_{16\text{-bits}} = \frac{3 \times 10^8}{2(20 \text{ MHz})} = 7.5 \text{ m}$$

Como muestran los resultados de la ecuación 1-2, para 8 y 16 bits, esta es la capacidad que tiene el radar para poder identificar un objeto, siendo múltiplos de 3.75m y 7.5m; con estos datos se toma en cuenta en el diseño el uso de un I/Q de 50 MS/s correspondientes a 8-bits.

2.1.2. Ancho de banda

Como se mencionó en el capítulo anterior la señal FMCW, trabaja de una frecuencia mayor a una menor o viceversa, para el estudio en mención la señal aumenta de una frecuencia de inicio, f_0 a una frecuencia máxima f_{max} . El ancho de banda se determina con la ecuación 2-2:

$$B = f_{max} - f_0$$

Ecuación 2-2:
Ancho de banda.

$$B = 40 \text{ MHz} - 0 \text{ MHz} = 40 \text{ MHz}$$

2.1.3. Distancia máxima

La distancia máxima de la señal recibida depende del tiempo final t_f , tal como muestra la ecuación 3-2, se debe tomar en cuenta que mientras más grande sea el valor del tiempo final más grande será la distancia máxima teórica.

$$d_{mt} = \frac{c * t_f}{2}$$

Ecuación 3-2:
Distancia máxima.

Donde:

d_{mt} : Distancia máxima

t_f : Tiempo final

c: Velocidad de la luz

2.1.4. Coeficiente de reflexión

Cuando una señal electromagnética se propaga en un medio al igual como lo hace en el vacío y cambia abruptamente a otro medio, ocurre el fenómeno de reflexión y transmisión de la señal,

esto quiere decir que una parte de la señal se refleja al medio inicial mientras que la otra parte logra transmitirse a lo largo del otro medio; cada una de las señales sufre cambios en sus propiedades, tales como atenuación, cambios de fase, reducción en la velocidad de propagación, entre otros, este fenómeno se observa en la figura 2-2 . (Moreno, 2015., p. 48.)

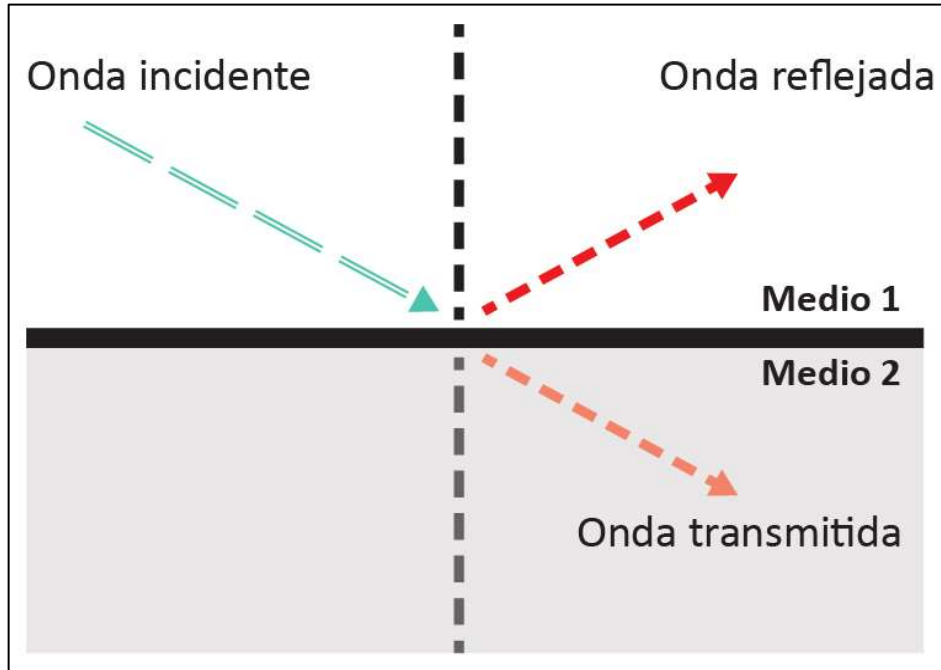


Figura 2-2: Onda reflejada y transmitida en una estructura formada por varias capas.

Fuente: Flores, 2013, pág. 69.

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

El coeficiente de reflexión (Γ), determina la relación de la amplitud de onda reflejada frente a la amplitud de la onda incidente, mientras que el coeficiente de transmisión (T), la cual indica la cantidad de onda transmitida respectivamente.

La ecuación 4-2, muestra que la amplitud reflejada es igual a la amplitud inicial de la onda multiplicada por una serie de funciones H y por el coeficiente de reflexión (Γ).

$$A_{rfe}^2 = H\Gamma A_0^2$$

Ecuación 4-2:
Relación de amplitudes

Donde:

A_{rfe}^2 : Es la amplitud para la reflexión

A_0^2 : La amplitud inicial

H : Función de efectos de atenuación, constante para la antena, mismo medio y distancia antena superficie

Γ : Coeficiente de reflexión.

Si se mantienen todos los parámetros que hacen variar la función H (distancia entre la antena y el reflector, material entre ambos, antena y parámetros de adquisición de datos) y se obtiene la reflexión contra una superficie metálica, como el coeficiente de reflexión en este caso es cercano a la unidad, se realiza una aproximación (se ocasiona una reflexión total o, una transmisión nula), podemos comparar las amplitudes obtenidas en el caso de la reflexión en el metal y en el medio que se estudia. Para el proceso cambia el valor de la amplitud medida y el coeficiente de reflexión que, en el caso del metal es la unidad y en el caso del medio depende del contraste entre la permitividad del material existente entre la antena y la superficie con la permitividad del medio. Podemos comparar en este caso las amplitudes, obteniendo la ecuación 5-2. (Pérez, Vega; 2001 p529).

$$A_{rfe}^2 = \Gamma A_{me}^2$$

Ecuación 5-2:

Relación de amplitud metal-material.

$$\Gamma = \frac{A_{rfe}^2}{A_{me}^2}$$

Siendo A_{me} la amplitud para la reflexión en el metal conductor y A_{rfe} la amplitud en la superficie del material estudiado.

En particular, cuando existe una discontinuidad en una línea de transmisión, el coeficiente de reflexión es el radio complejo de la intensidad de campo eléctrico de la onda reflejada (E^-) sobre la onda incidente (E^+), descrita en la ecuación 6-2. (Moreno, David p. 49.)

$$\Gamma = \frac{E^-}{E^+}$$

Ecuación 6-2:

Coeficiente de reflexión en base al campo eléctrico.

Para la presente investigación se considera un ángulo de la señal incidente perpendicular con la muestra de suelo. Con esta consideración, el coeficiente de reflexión y de transmisión dependen únicamente de las características dieléctricas del medio, expresadas a continuación en las ecuaciones 7-2 y 8-2. (Moreno, David p. 49.)

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}}$$

Ecuación 7-2:
Coeficiente de reflexión.

Donde

Γ : Coeficiente de reflexión

$\sqrt{\varepsilon_1}$: Permitividad del medio 1

$\sqrt{\varepsilon_2}$: Permitividad del medio 2

$$T = \frac{2 * \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}}$$

Ecuación 8-2:
Coeficiente de transmisión.

Donde

T: Coeficiente de transmisión

$\sqrt{\varepsilon_1}$: Permitividad del medio 1

$\sqrt{\varepsilon_2}$: Permitividad del medio 2

Al usar esta relación de la ecuación 7-2 el material que comúnmente suele estar entre la antena y la superficie del medio suele ser el aire, dando así que uno de los coeficientes dieléctricos (permitividad relativa) es equivalente a la unidad, es decir $\varepsilon_2 = 1$, con este concepto lo reemplazamos en la ecuación 5-2 y obtenemos la ecuación 9-2 y 10-2.

$$A_{rfe}^2 = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}} A_{me}^2$$

Ecuación 9-2:
Relación de permitividad y coeficiente de reflexión.

$$A_{rfe}^2 = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - 1}{\sqrt{\varepsilon_1} + 1} A_{me}^2$$

Ecuación 10-2:
Relación de permitividad y coeficiente de reflexión con $\varepsilon=1$ del aire.

2.1.5. Permitividad

La Permitividad es la medida de cuanto un campo eléctrico afecta y es afectado por la presencia de un material dieléctrico. La permitividad de un medio describe la cantidad de campo eléctrico que es generada por una unidad de carga en dicho medio. Mientras más baja es la permitividad

de un material dieléctrico más grande será la cantidad de flujo eléctrico en un medio a causa de los efectos de polarización. (Moreno, 2015, p. 41.).

La permitividad está directamente relacionada a la susceptibilidad eléctrica, la cual es una medida de cuan fácil un dieléctrico puede polarizarse en respuesta a la aplicación de un campo eléctrico. Por lo tanto, la permitividad se relaciona a la habilidad de resistencia de un material frente a la acción de un campo eléctrico. (Moreno, 2015, p. 41.).

En unidades del SI, la permitividad ϵ se mide en faradios sobre metro (F/m); la susceptibilidad eléctrica es adimensional. Estos parámetros se relacionan uno a otro mediante la siguiente ecuación 11-2. (Moreno, 2015, p. 41.).

$$\epsilon = \epsilon_r * \epsilon_0 = (1 + X_e)\epsilon_0$$

Ecuación 11-2:
Permitividad absoluta.

Donde

ϵ_r : Permitividad relativa del material

ϵ_0 : Permitividad del vacío $8.8541878176... \times 10^{-12}$ F/m

X_e : Susceptibilidad eléctrica

La permitividad lineal de un material homogéneo se da usualmente mediante un valor relativo al de la permitividad del espacio libre, como una permitividad relativa ϵ_r (también llamada constante dieléctrica). (Moreno, 2015, p. 42.).

Se puede obtener dos formas de calcular la permitividad relativa del material la primera partiendo de la ecuación 10-2 despejando la constante dieléctrica obtenemos que puede ser calculado a partir de las amplitudes medidas para los dos casos, es decir la reflexión en el medio y reflexión en el metal, obteniendo la ecuación 12-2.

$$\epsilon_1 = \left(\frac{A_{me}^2 + A_{rfe}^2}{A_{me}^2 - A_{rfe}^2} \right)^2$$

Ecuación 12-2:
Permitividad relativa del material.

Este método de la ecuación 12-2 puede ser utilizado cuando no es posible obtener una muestra del medio. La principal desventaja es que solamente permite determinar la permitividad del material de la capa más superficial.

Otra manera de encontrar el valor de permitividad, es a partir de la ecuación 7-2 antes mencionada, de la cual podemos encontrar la permitividad del medio 2 el cual será el valor a comparar con los análisis realizados a las muestras de cada suelo.

Con este resultado de la ecuación 7-2 podemos añadir que el material $\epsilon_1 = 1$, ya que el material que se encuentra entre la antena y la superficie del segundo medio (suelo) es el aire teniendo un valor aproximado de 1 respectivamente de igual forma como se considera previamente.

$$\begin{aligned}\epsilon_1 &= 1 \\ \sqrt{\epsilon_2} (\Gamma + 1) &= 1(1 - \Gamma) \\ \sqrt{\epsilon_2} &= \frac{(1 - \Gamma)}{(1 + \Gamma)}\end{aligned}$$

Ecuación 13-2:
Permitividad para medio 2 (suelos).

2.2. Diseño de la señal FMCW.

El proceso de diseño fue realizado con el uso de dos softwares para envío, recepción, almacenamiento y procesamiento de la señal, basado en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Características software de simulación.

Software Simulación	Costo	Programación
Matlab	Bajo	Fácil
LabVIEW	Alto	Compleja

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

A continuación, se explica el proceso por el cual fue desarrollada cada etapa del diseño, dividida entre el transmisor y receptor, realizada en el software LabVIEW; la etapa del procesamiento a su vez fue desarrollado en el software Matlab.

2.2.1. Transmisor

El proceso de diseño en LabVIEW posee una opción básica para realizar la transmisión de señales con cuatro bloques, ver figura 3-2, los cuales tienen la capacidad de añadir otras opciones necesarias dependiendo de la investigación que se lleve a cabo.

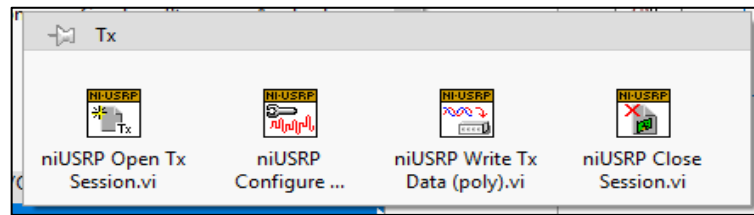


Figura 3-2: Bloques iniciales de Tx en LabVIEW
 Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Las señales FMCW como se mencionó en el capítulo uno, se basan en la generación de una señal chirp, las cuales usan una configuración up (de una señal baja a una señal alta), partiendo de una señal de 0 MHz a 40 MHz, se realiza una variación en el uso de bloques para poder transmitir una señal chirp como muestra la figura 3-2 y la figura 4-2.

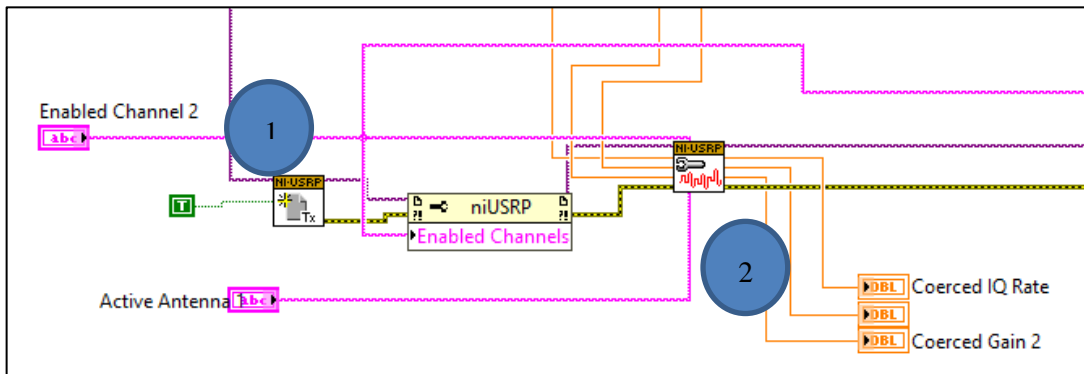


Figura 4-2: Bloques de generación señales Tx en LabVIEW.
 Elaborado por: Espinoza, Patricio; 2019.

La etapa 1 de la figura 4-2 muestra el inicio de sesión, es decir, es la fase donde la computadora comienza la comunicación con la tarjeta USRP-2932, a partir de su dirección IP estática característica de cada tarjeta, la cual es configurada desde el adaptador de la PC a través de una conexión Ethernet con un cable Gigabit para aprovechar la velocidad de transmisión que poseen las tarjetas.

La etapa 2 de la figura 4-2 indica el bloque el cual recibe los datos básicos de cualquier señal para un envío, entre estas están, la frecuencia de corte a través de cual se genera la señal chirp, ganancia de la antena, y el I/Q en base a las características de operación de la tarjeta USRP-2932.

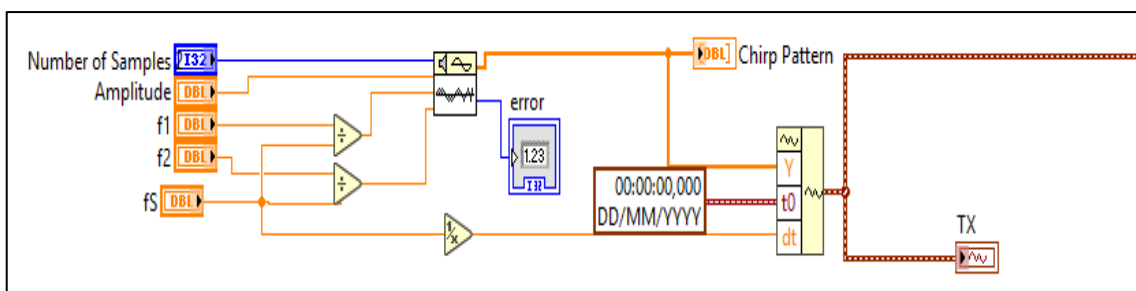


Figura 5-2: Generación señal chirp para Tx en LabVIEW

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

A pesar que LabVIEW posee bloques que generan directamente la señal chirp, se toma un camino diferente generando la señal chirp de FMCW, con la entrada de ambas frecuencias (inicial f_1 y final f_2), con relación a la frecuencia de muestreo (f_s), proceso observado en la figura 5-2; para obtener un dato en unidades ciclos/muestra. Mientras en la figura 6-2 se muestra la pantalla gráfica para ingresar los datos tanto de la etapa 1 y 2 así como los datos requeridos para generar la señal chirp.

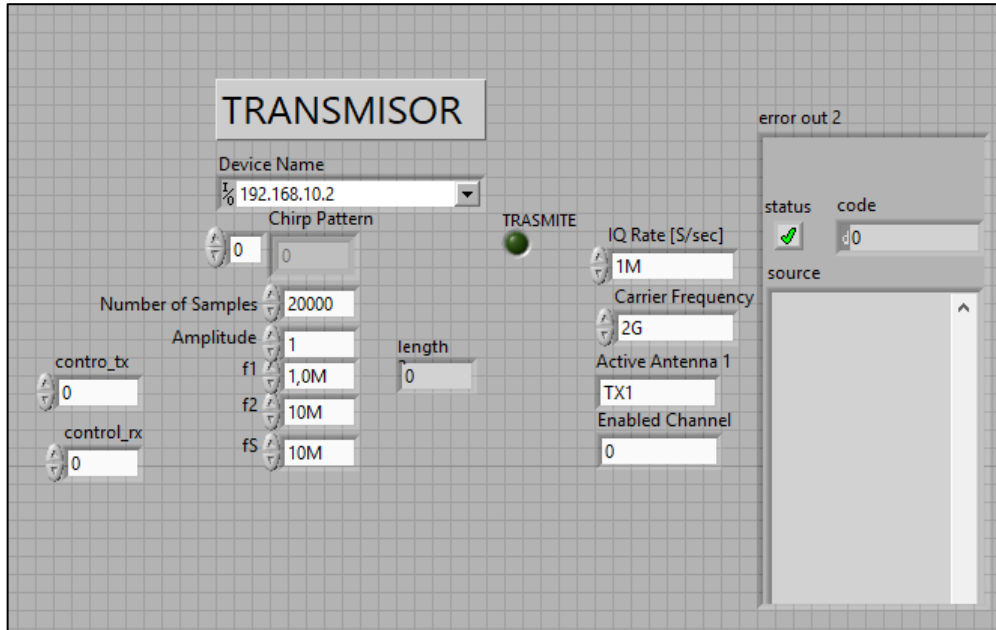


Figura 6-2: Configuración grafica de Tx en LabVIEW.

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Una vez ingresado todos los datos necesarios en la figura 6-2, obtenemos la gráfica de la señal Tx para su posterior procesamiento como se observa en la figura 7-2, la cual está en el dominio de la frecuencia desde la frecuencia inicial (f_0), hasta la frecuencia final (f_{max}).

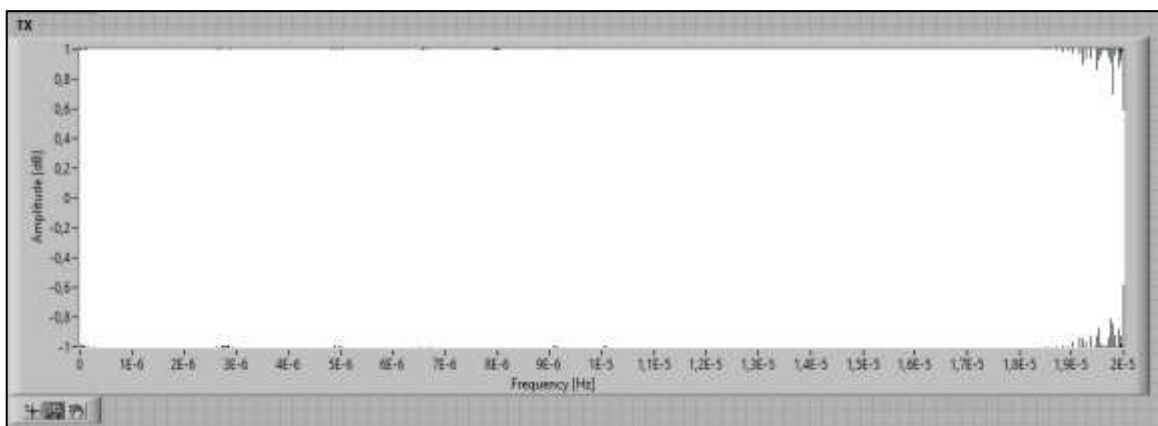


Figura 7-2: Señal Tx en LabVIEW dominio de la frecuencia

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

En la figura 8-2, la señal chirp con la misma frecuencia inicial y final, muestreada en el dominio del tiempo el cual es basado en el tiempo máximo, definido en el capítulo anterior.

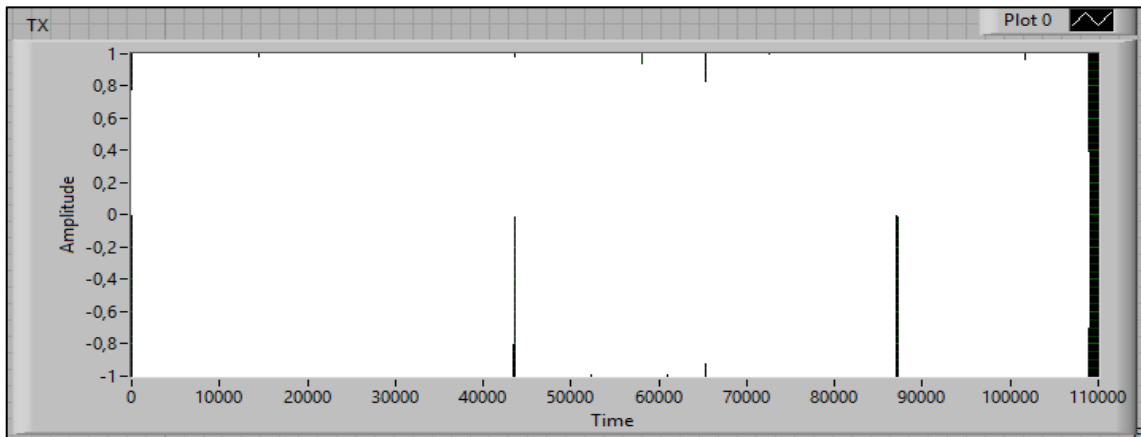


Figura 8-2: Señal Tx en LabVIEW dominio del tiempo
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

La etapa 3 de la transmisión como se observa en la figura 9-2, indica el bloque encargado del envío de la señal chirp, es decir, es en esta etapa donde la señal pasa del ordenador a la USRP-2932, la cual por medio de la antena conectada a su puerto especificado ya en la tarjeta como TX1 transmite la señal con incidencia normal hacia la superficie del terreno.

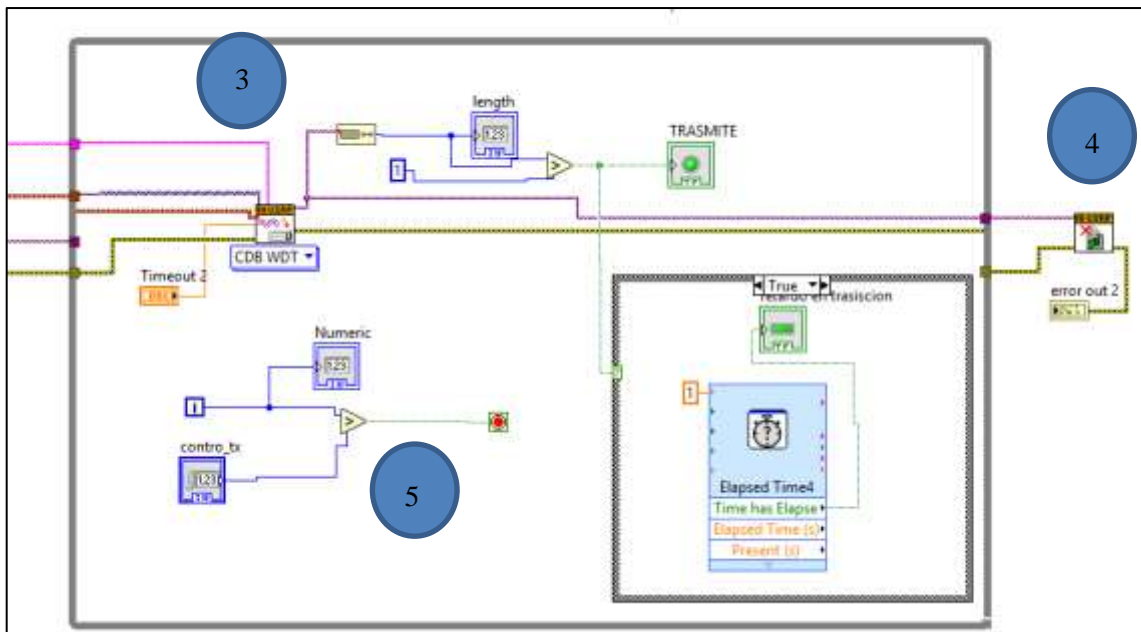


Figura 9-2: Envío señal chirp por medio de bloques Rx en LabVIEW.
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

La etapa 4 de la figura 9-2 es la encargada de finalizar el proceso de sesión con la tarjeta USRP-2932, la cual tiene una opción de mensaje de error para observación y análisis en caso de un fallo en el diseño, a su vez en esta etapa finaliza el proceso de transmisión por cualquiera de los errores presentados o finalización del bucle While.

El diseño de envío se encuentra dentro de un bucle While, el cual necesita una señal de stop, para ello se creó el proceso o etapa 5 la cual cumple con esta función observado en la figura 9-2, donde se configura el número de procesos para finalizar el ciclo.

2.2.2. Receptor

Al igual que el proceso de transmisión, el proceso de recepción también posee una base de bloques los cuales son usadas para recibir una señal, estos bloques son los mostrados en la figura 10-2.



Figura 10-2: Bloques iniciales de Rx en LabVIEW

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

El diseño para recibir la señal con la tarjeta USRP-2932, funciona a la par con el diseño de transmisión debido a que la tarjeta funciona de forma full-duplex, la figura 11-2 muestra la etapa 1 encargada al igual que la transmisión de iniciar la sesión de comunicación con la tarjeta de acuerdo a la dirección IP configurada previamente.

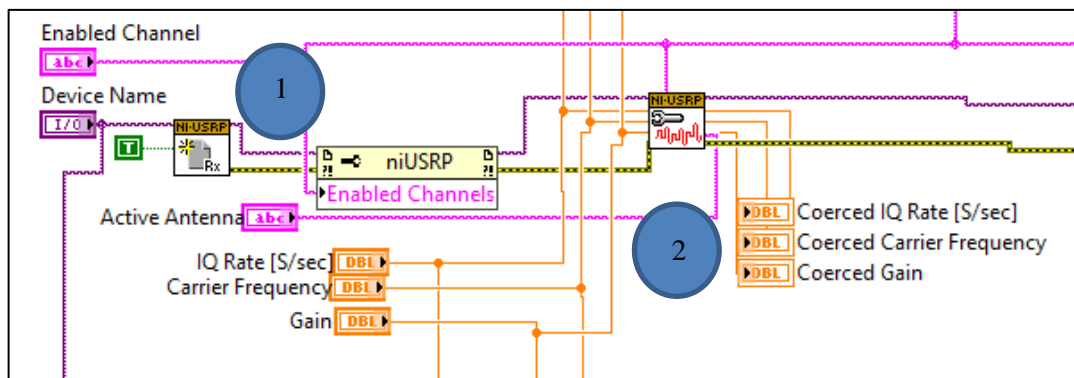


Figura 11-2: Bloques de generación señales Rx en LabVIEW

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2019.

La etapa 2 de la figura 11-2 funciona junto al transmisor, debido a que el trabajo se realiza sobre la misma tarjeta USRP en tiempo real, dichos parámetros son compartidos por ambos bloques, es decir la ganancia, la frecuencia de corte y el I/Q rate definido en las características técnicas de la tarjeta.

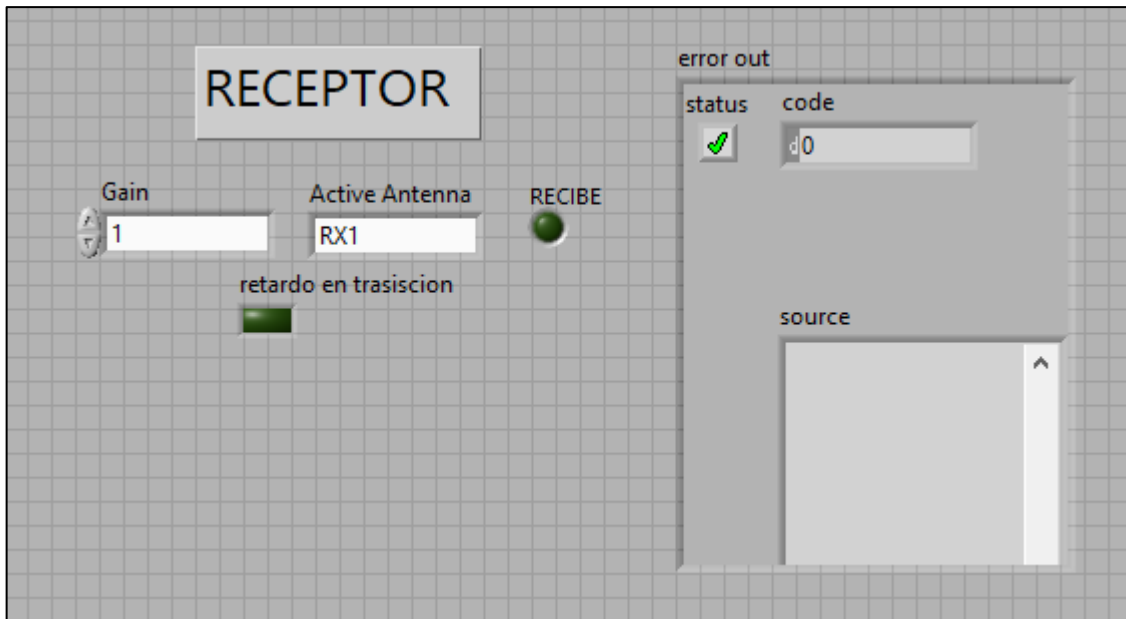


Figura 12-2: Configuración gráfica de Rx en LabVIEW
 Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

La pantalla grafica del receptor de la figura 12-2, como se mencionó anteriormente usa los mismos parámetros que en la transmisión, por esta razón no es necesario ingresar los datos por segunda ocasión, salvo en el uso del puerto de recepción el cual debe ser RX1, por la cual la antena de recepción está conectada a la tarjeta USRP.

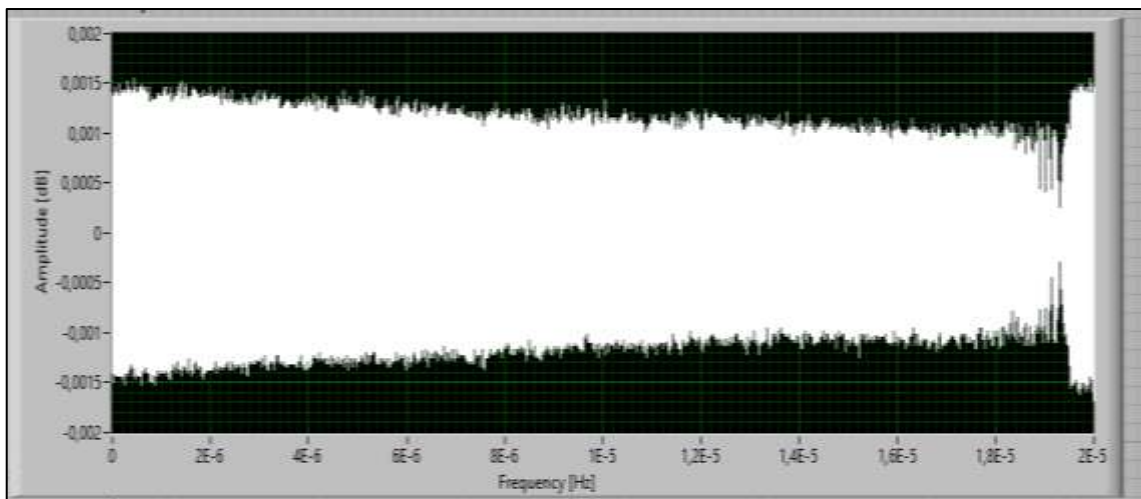


Figura 13-2: Señal Rx en LabVIEW dominio de la frecuencia
 Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

La figura 13-2 muestra la señal recibida en el dominio de la frecuencia con su amplitud correspondiente, la cual muestra la atenuación respectiva, de igual forma la figura 14-2, muestra la señal en el dominio del tiempo, ambas señales en similitud de frecuencia y tiempo a la señal Tx con la cual serán comparadas y procesadas.

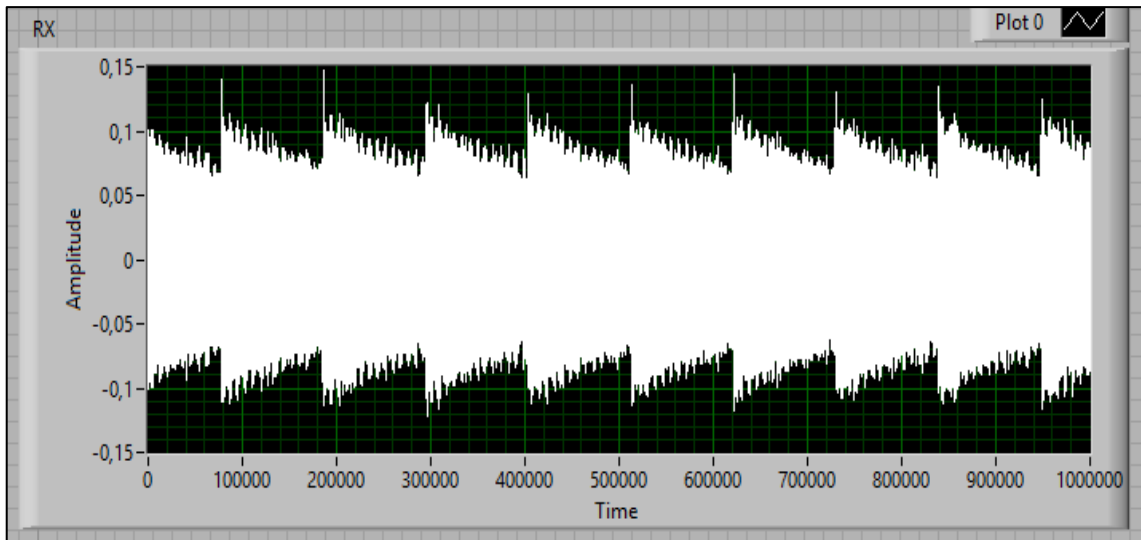


Figura 14-2: Señal Rx en LabVIEW dominio del tiempo

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

La etapa 3 de la figura 15-2, en base a los datos iniciales usados en la etapa 2, envía el número de muestras para la reconstrucción de la señal hacia el bloque 4, en base a las 108900 muestras que son usadas por el transmisor para el envío de la señal.

La última etapa 5 mostrada en la figura 15-2, difiere de la transmisión debido a que esta solo es utilizada en la recepción ya que inicia el proceso de captación de una señal.

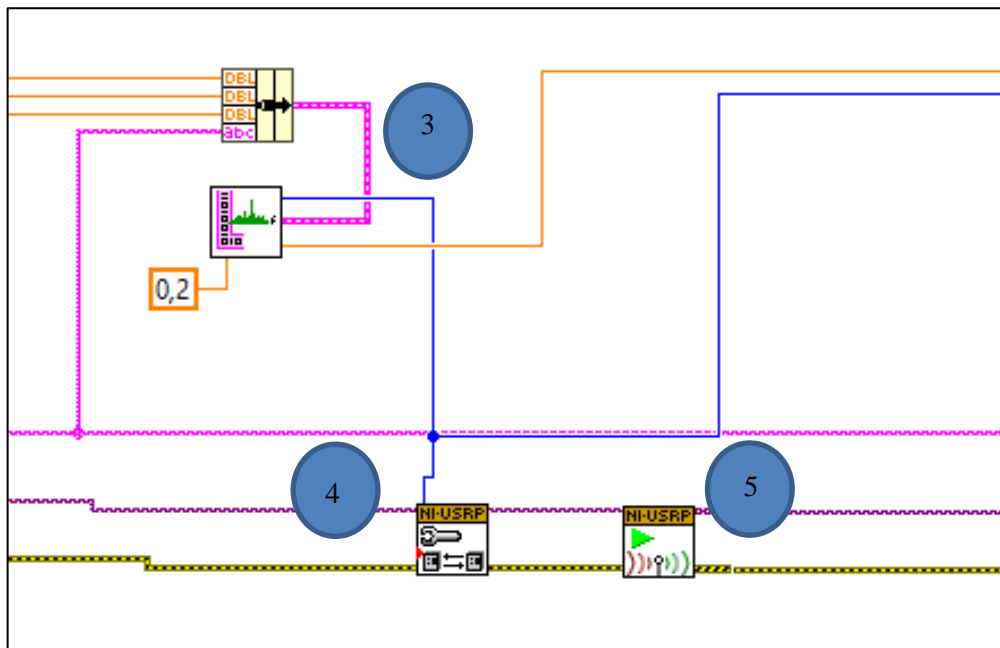


Figura 15-2: Etapas de configuración previa recepción de la señal en LabVIEW

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

En la etapa 6 como muestra la figura 16-2, la tarjeta USRP capta la señal la cual está lista para ser reconstruida, este proceso es realizado dentro del bucle While para repetir la acción hasta finalizar

la recepción. Para poder finalizar la recepción de igual manera se trabajó con un stop (señal de finalización) en la etapa 7 y poder detener el bucle While de acuerdo a la cantidad de repeticiones que son ingresadas en la pantalla gráfica.

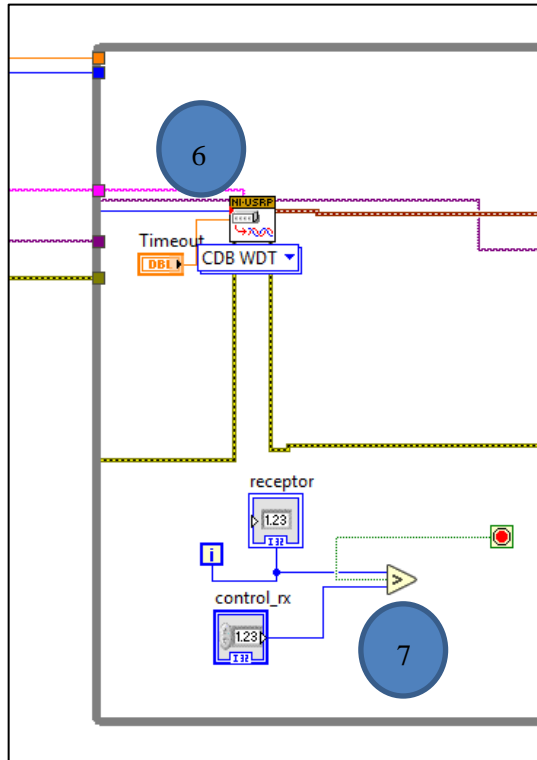


Figura 16-2: Etapa de recepción de la señal
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Para poder reconstruir la señal captada por la USRP, se usó la etapa 8 de la figura 17-2 la cual parte de obtener la variable data de forma waveform de la etapa 6 y requiere cambiarla a un data tipo array, para poder ser graficada con relación a un diferencial de tiempo de muestreo (ts) el cual es el mismo de la generación en el transmisor, con el número de muestras del bloque 3 para mostrar el resultado de la reconstrucción en un Waveform Graph.

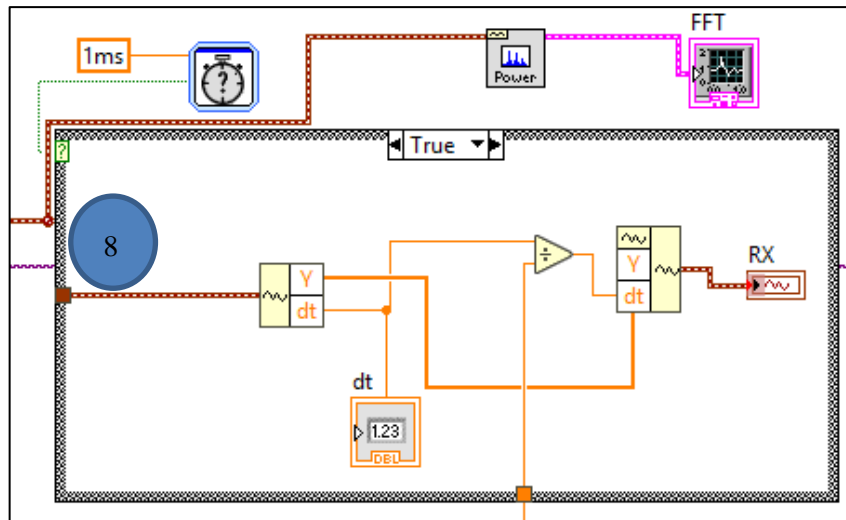


Figura 17-2: Reconstrucción de la señal
 Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Para finalizar la recepción de la señal, la etapa 9 está configurada por dos bloques, el primero, el cual finaliza el proceso de captar la señal y el segundo encargado del cierre de la sesión de comunicación con la tarjeta, el cual también indica la posibilidad de un error si este se produce a lo largo de las etapas previas, como lo muestra la figura 18-2.

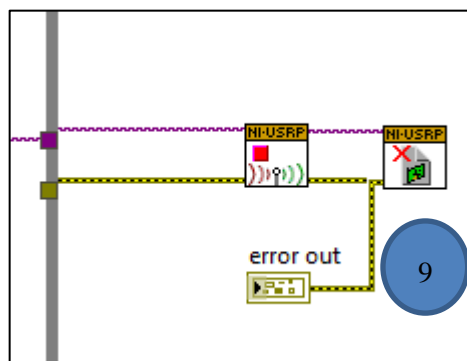


Figura 18-2: Finalización de la comunicación

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020

2.2.3. *Procesamiento de las señales*

El procesamiento de la señal es realizado en el software Matlab, debido a que el procesamiento de la computadora no soporta el envío, recepción y procesamiento trabajando en paralelo, por falta de memoria física y procesamiento; para no tener dicho error se almacena cada señal transmitida y las recibidas en documentos de Excel, las cuales guardan en columnas las muestras de amplitud y muestras de tiempo.

Con los datos almacenados, se carga estos archivos al diseño realizado en el software de Matlab mostrando los datos de amplitud y tiempo, tanto para la señal transmitida como para la señal recibida, lo cual puede observarse en la figura 19-2.

A través de Matlab, una vez cargado los datos de las señales Tx y Rx, se realiza el procesamiento, para mostrar el espectro de ambas señales, indicando la atenuación en su espectro de Rx, referente a su señal enviada, como se observa en la figura 20-2 en base a la frecuencia de muestreo (f_s), definida en la ecuación 1-3.

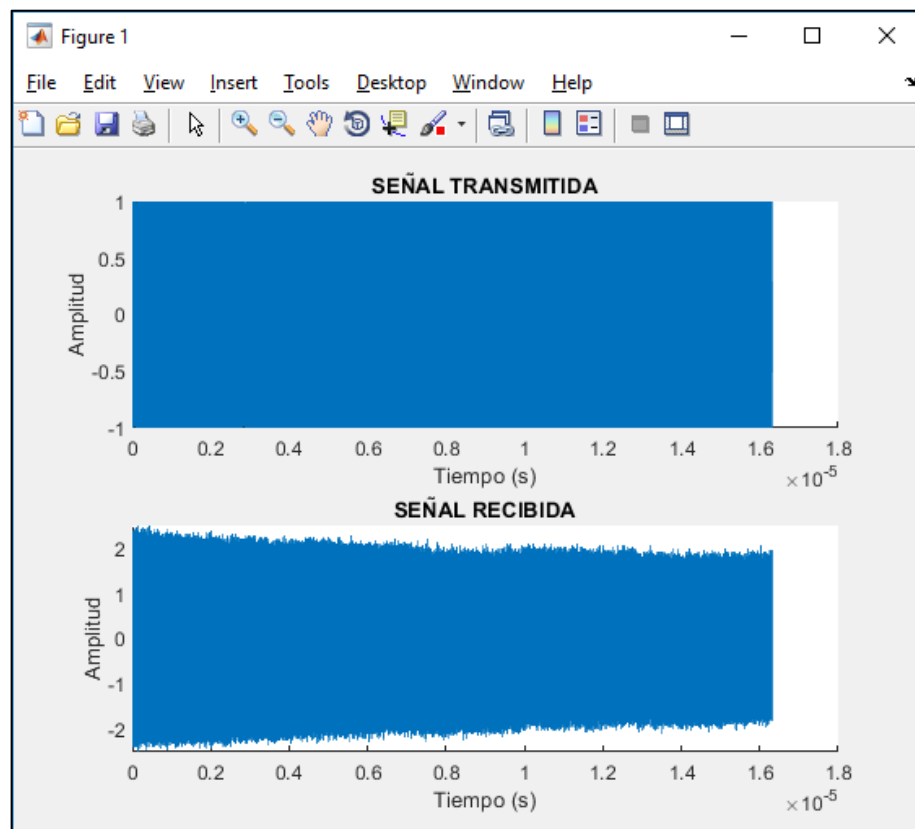


Figura 19-2: Señal Tx y Rx en Matlab.
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2019.

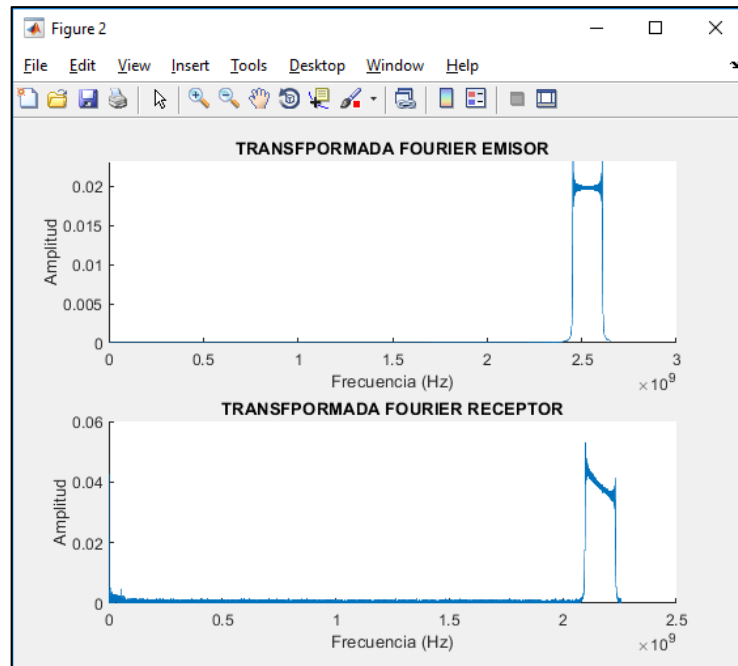


Figura 20-2: Transformada de Fourier de la señal Tx y Rx en Matlab.

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.2.3.1. Radargrama

Para obtener el radargrama, coeficiente de reflexión y posteriormente la permitividad de la muestra es necesario multiplicar la señal transmitida y la señal recibida, teniendo un resultado como lo muestra la figura 21-2. La multiplicación de las señales, deben ser iguales en sus parámetros como lo son tiempo y muestras, ya que el procesamiento requiere almacenar los datos en vectores de igual longitud para poder realizar la operación, así obteniendo un resultado sin errores, el diseño del procesamiento realizado en Matlab se comparte en el Anexo C.

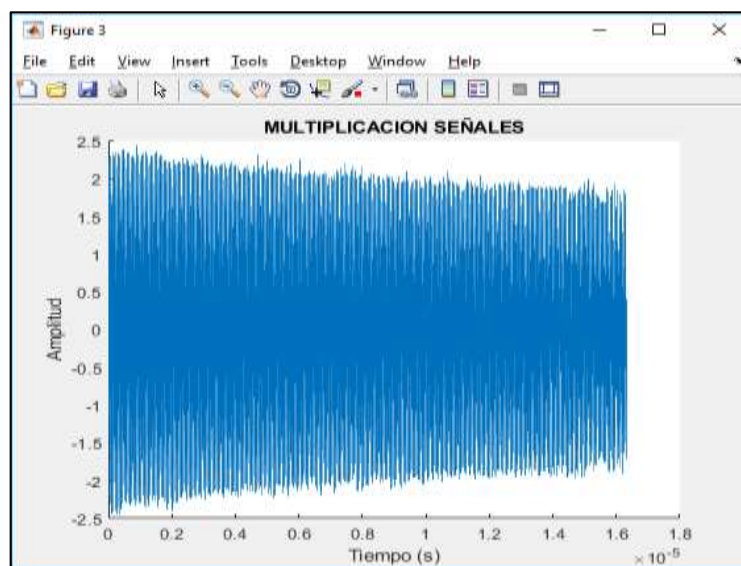


Figura 21-2: Multiplicación señal Tx y Rx, calibrada.

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

La calibración de la señal la cual se explica en el apartado de implementación, muestra un coeficiente de reflexión aproximado a la unidad, figura 22-2, lo cual muestra la señal reflejada, a partir de esta base la toma de resultados son derivaciones como se observa en la figura 23-2, demostrando una atenuación en amplitud de cada señal receptada por punto de análisis.

Cabe mencionar que las señales calibradas tanto para el barrido a ser realizado por medio de la forma manual y con uso de un UAV son cercanas a la unidad, por esta razón los valores concuerdan entre los medidos con su respectiva calibración.

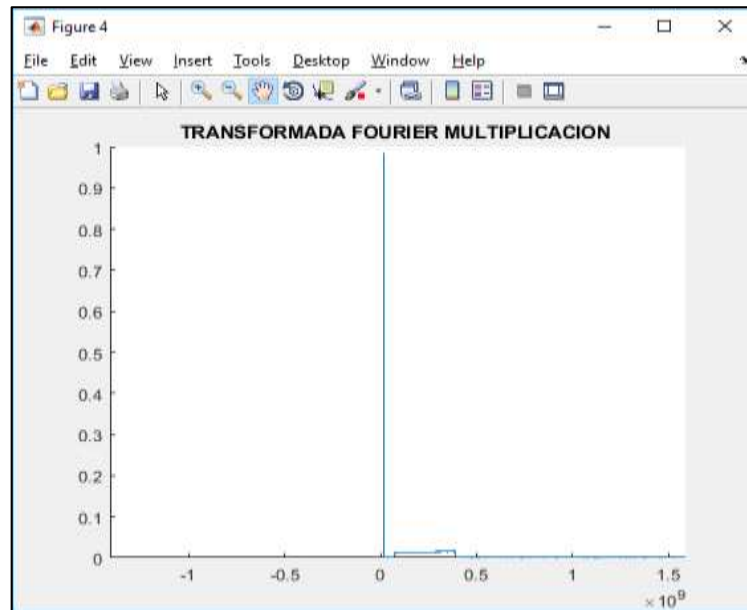


Figura 22-2: Coeficiente de reflexión señal calibrada
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

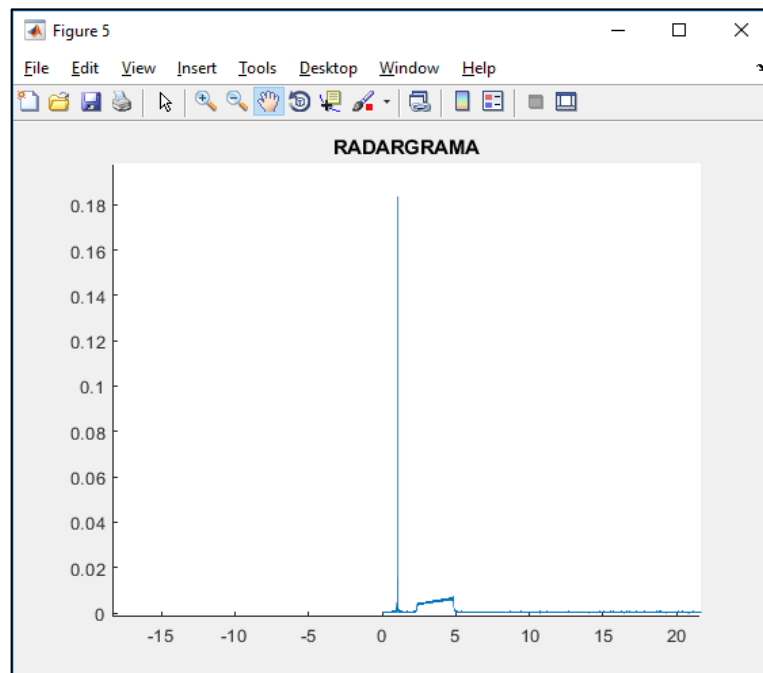


Figura 23-2: Coeficiente de reflexión señal resultante
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

El radar FMCW nos proporciona información analógica en el dominio de la frecuencia espacial, que una vez procesada permite determinar la distancia del objetivo entre otros parámetros. Para lo cual debemos realizar la transformada de Fourier de la señal multiplicada (resultante), con esta operación se convierte del dominio de la frecuencia espacial al dominio de la frecuencia temporal.

En la figura 24-2, nos muestra el Radargrama en el dominio de la frecuencia temporal en donde el pico más alto representa la distancia a la que se encuentra el objetivo, cabe recalcar que el presente trabajo de titulación, está diseñado para distancias menores a 6m debido que, a partir de esta distancia se deben considerar varios factores de perdidas como: conectores, cables, acoples, entre otros.

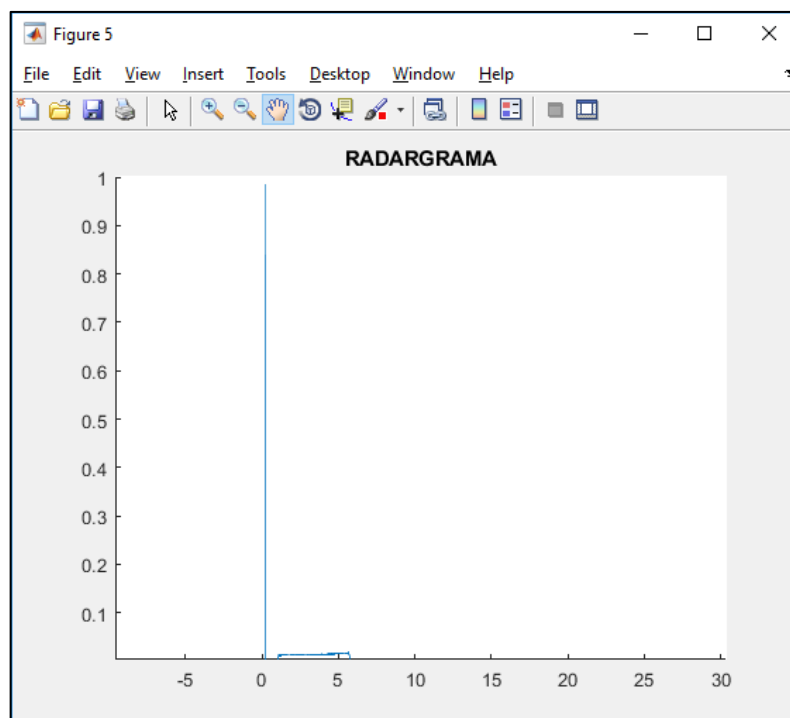


Figura 24-2: Radargrama
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.2.4. Corrección de ancho de banda señal chirp en LabVIEW

El uso de la tarjeta USRP-2932, posee un ancho de banda de trabajo de 40MHz a 8 bits, cabe recalcar que el proceso de transmisión a través de los bloques de LabVIEW modula la señal chirp en base a la frecuencia portadora, de igual manera al recibir la señal lo hace en base a esta frecuencia portadora.

Se definió una señal chirp en alta frecuencia obteniendo un ancho de banda teórico muy alto, ecuación 2-2, la figura 25-2 muestra el ancho de banda de la señal chirp con un f_1 de 0MHz y f_2

de 40MHz, es decir, usar el ancho de banda de trabajo de la tarjeta USRP-2932 para observar el espectro base de la señal enviada.



Figura 25-2: Espectro señal chirp, frecuencia de muestreo 80MHz
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

El ancho de banda diseñado en LabVIEW, figura 26-2, corresponde al observado en el analizador de espectros de la figura 25-2, mostrando una concordancia entre ambas formas de medición para la señal chirp. Debido a las características del ordenador, así como el ancho de banda base de la tarjeta USRP-2932, surgen limitaciones en mejorar este ancho de banda de trabajo para frecuencias altas, por ello se observa que trabajar a bajas frecuencias aprovecha de mejor manera el beneficio de la configuración de la señal chirp.

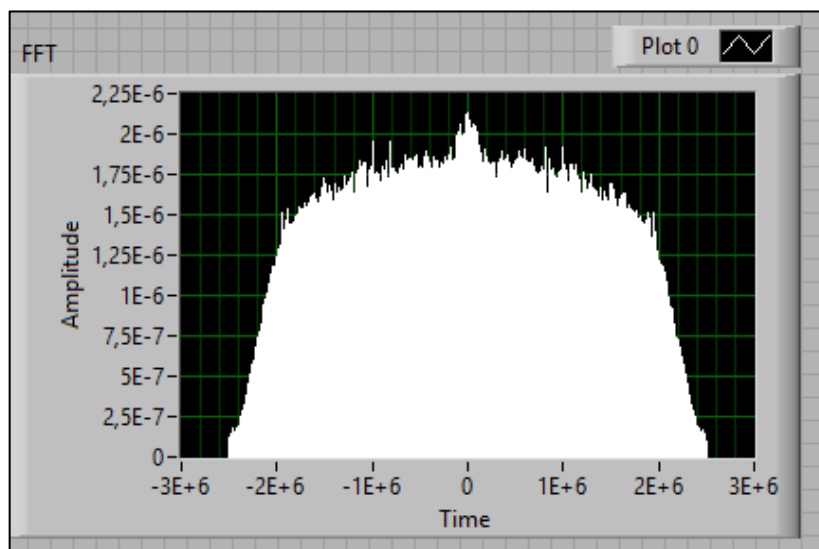


Figura 26-2: Espectro señal chirp, frecuencia de muestreo 80MHz en Labview

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.3. Identificación de las muestras

Al mencionar una caracterización de suelos, a través de una implementación de un prototipo es necesario realizar pruebas de campo, para ello se toma tres terrenos diferentes de suelos dentro de los predios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, debido a los siguientes factores.

- Facilidad de movilización, debido a la cantidad de equipos necesarios y el costo que estos implican se toma la decisión de realizar las pruebas dentro de los predios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a su vez que dentro del área que corresponde a la ESPOCH, se tienen varios tipos de suelos con variaciones para el análisis correspondiente.
- Facilidad de conexión, debido a que la tarjeta USRP-2932 requiere de una alimentación eléctrica continua de 6V, el traslado a zonas alejadas de este servicio complica la toma de datos respectivos, por esta razón se realizan las pruebas dentro de los predios de la ESPOCH.

La selección de estos terrenos es realizada para crear una validación de todos los resultados que se obtengan, es decir, comparar datos de las muestras físico-químicas obtenidos con un análisis independiente de los terrenos, con ambos barridos a cada una de las muestras, cotejando los resultados obtenidos.

2.3.1. Selección de terrenos

Los terrenos seleccionados dentro de la ESPOCH fueron tres diferentes tipos de suelos separados uno de otro, para obtener resultados distintos entre cada uno de ellos.

2.3.1.1. Terreno Facultad de Informática Electrónica

Al identificar la poca vegetación que se tiene a los exteriores del nuevo edificio de la Facultad de Informática y Electrónica, así como la cercanía al edificio para tener una conexión eléctrica adecuada para el funcionamiento de la tarjeta USRP-2932, esta es seleccionada como el terreno número 1, como muestra la figura 27-2.



Figura 27-2: Terreno número 1 Facultad de Informática y Electrónica

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.3.1.2. *Terreno de la Facultad de Ciencias Pecuarias*

La elección de este terreno para el análisis, se debe a que posee estudiantes que pertenecen a las diferentes escuelas de esta facultad quienes realizan prácticas en los suelos, dando una gran oportunidad para el análisis de los mismos, al igual que la cercanía a un edificio para la toma de una conexión eléctrica, como muestra la gráfica 28-2.



Figura 28-2: Terreno número 2 Facultad de Ciencias Pecuarias

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.3.1.3. *Terreno de la Facultad de Recursos Naturales*

Al igual que con los terrenos anteriores, la elección de este terreno para realizar el análisis, se debe a la poca intervención humana que tiene, al ser un área para la observación de aves por parte de estudiantes que pertenecen a la facultad de Recursos Naturales, como su cercanía a un edificio para la toma de una conexión eléctrica, lo hacen una buena opción de estudio, como muestra la gráfica 29-2.



Figura 29-2: Terreno número 3 Facultad de Recursos Naturales
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.4. **Análisis físico y químico de los terrenos**

Para el análisis de los terrenos seleccionados se realizó dos tipos de exámenes tanto físicos como químicos, estos fueron realizados en el laboratorio GIDAC (Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático) perteneciente a la facultad de Ciencias de la ESPOCH. Los análisis químicos realizados fueron de pH, % de Humedad y conductividad de las tres muestras; por parte de los análisis físicos se realizaron, color, textura, estructura y densidad de todas las muestras.

Este proceso fue realizado por equipos que posee el grupo de investigación GIDAC; existen en la actualidad otro tipo de exámenes más precisos, los cuales no pudieron ser realizados debido a la falta de equipamiento adecuado.

2.4.1. pH

El pH es una de las medidas más indicativas de las propiedades químicas del suelo. El valor de pH determinado indica la acidez y la basicidad del suelo. El pH del suelo representa la actividad del ion H^+ , es decir, la concentración de este en el suelo, entre más alta sea la concentración de H^+ menor será el pH y mayor la acidez, figura 30-2. (Rosero, 2019, p.33).

Según el manual internacional de fertilidad de suelos, se clasifican según su acidez en: muy fuertemente ácidos (de 4 a 4,5), fuertemente ácidos (de 4,5 a 5,5), ácidos (de 5,5 a 6,5), ligeramente ácidos (de 6,5 a 6,8), neutros (de 6,8 a 7,2), ligeramente alcalinos (de 7,2 a 7,5), alcalinos (de 7,5 a 8,5) y fuertemente alcalinos (de 8,5 a 9). (Rosero, 2019, p.33).

Los análisis de pH y conductividad fueron los primeros en ser realizados, esto se debe a que es necesario medirlos en el menor tiempo posible desde que se toma la muestra del terreno. A continuación, se muestran los pasos realizados siendo los mismos para las tres muestras de suelos.

- Con el uso de una balanza analítica, fueron pesados 20 g de la muestra de cada suelo en un recipiente plástico (vaso) y se agregaron 45 mL de agua destilada.
- Se revolvió la muestra de forma constantemente durante 15 minutos y se mantuvieron en reposo durante otros 3 minutos.
- Se midieron los valores de pH para cada muestra con ayuda de un pH-metro de marca accumet® Basic AB150 de marca Fisher Scientific.

Los suelos con mayor valor en pH suelen ser aquellos que han tenido alguna intervención humana en muchos de los casos modificando las características naturales que tenían de forma natural, o existen factores naturales como erupciones volcánicas las cuales mueven una gran cantidad de azufre, el cual es un factor químico que cambia en gran medida la composición del suelo.



Figura 30-2: Medición de pH
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.4.2. Conductividad

La razón de realizar un estudio de conductividad es aportar a la investigación un sustento mayor y variedad en datos para próximas investigaciones, ya que este es un factor base si la necesidad de la investigación recaería en la transmisión de la señal a capas más profundas del suelo, figura 31-2.

La conductividad eléctrica es una medida que permite determinar la concentración de sales solubles presente en el suelo; además, mide la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica. Las medidas utilizadas para medir la CE son dS/m, medida que es equivalente a la que anteriormente se utilizaba: mmhos/cm (Rosero, 2019, p.34).

- Para el cálculo de la conductividad se usaron las muestras de suelo que fueron preparadas para medir el pH, con la diferencia que estas muestras requieren mantenerse en reposo durante 24 horas para tomar sus datos.
- Al igual que para medir el pH, para la conductividad se usó un conductímetro marca Hach sensION5, registrando la conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 31-2: Medición de conductividad
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.4.3. % Humedad

La humedad de la muestra representa el contenido de agua y aire presentes en el suelo, donde la humedad de la muestra es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente dentro de una masa de suelo, figura 32-2. (Rosero, 2019, p.34)

- Para este análisis se usó el método del terrón, el cual requiere de 3 repeticiones por cada muestra.
- En una balanza analítica Adventurer® marca OHAUS, se midió el peso de cada terrón húmedo, siendo registrado como P₁.
- Por medio de una estufa de convección forzada marca ESCO, se debe proceder a secar los terrones durante 24 horas a 105 °C, siendo registrado como P₂.



Figura 32-2: Pesado de Terrones
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2019.

El porcentaje de humedad es calculado por medio de la ecuación 14-2, una vez obtenida los pesos de cada terrón antes y después del secado en la estufa.

$$\% H = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Ecuación 14-2: %Humedad.

2.4.4. Densidad aparente

La densidad aparente es aquella que describe la compactación del suelo representando la relación entre sólidos y espacio poroso. La determinación de la densidad aparente se realiza por medio del método de cilindro o por medio de un terrón parafinado, figura 33-2. (Rosero,2019, p.35)

- Para la densidad aparente se procedió a calentar parafina con ayuda de un reverbero eléctrico.
- Se debe medir el volumen desplazado por cada terrón con ayuda de una probeta.
- El cálculo de la densidad aparente se realizó mediante la ecuación 15-2.

$$Da = \frac{P_2}{Volumen\ desplazado}$$

Ecuación 15-2: Densidad aparente.



Figura 33-2: Densidad aparente.
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.4.5. Color

Este atributo permite inferir la naturaleza constitutiva del suelo o las condiciones químicas donde los constituyentes estuvieron sometidos, pues se correlaciona con la mayoría de características mineralógicas, físicas y químicas del suelo, figura 34-2 (Rosero, 2019, p36).

- El análisis de color se realizó mediante observación, comparando las tonalidades de cada muestra con las tablas de Munsell Soil Color Book (Libro de Color de Suelos), donde se registraron los datos en el siguiente orden: Matriz (tinte), Fila, y Columna (1, 2 o 3).

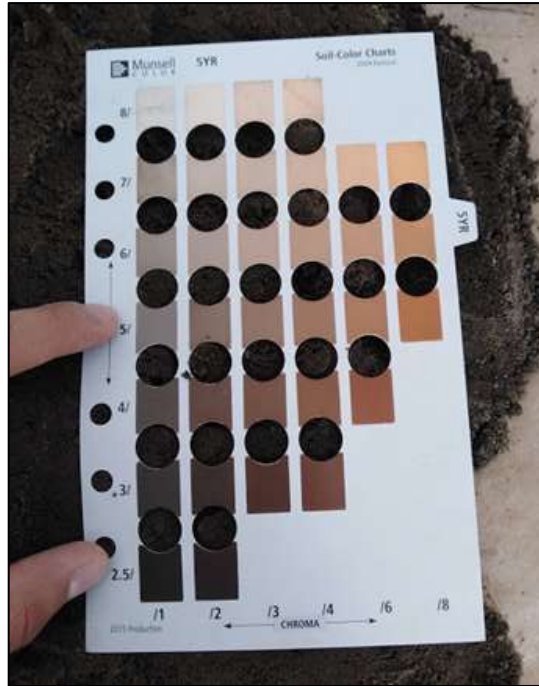


Figura 34-2: Prueba de color
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.4.6. Textura y estructura

Para un análisis de estructura se realiza a través del método del tacto, siendo seleccionados según el grano, como se observa en la figura 35-2 y la tabla 2-2.

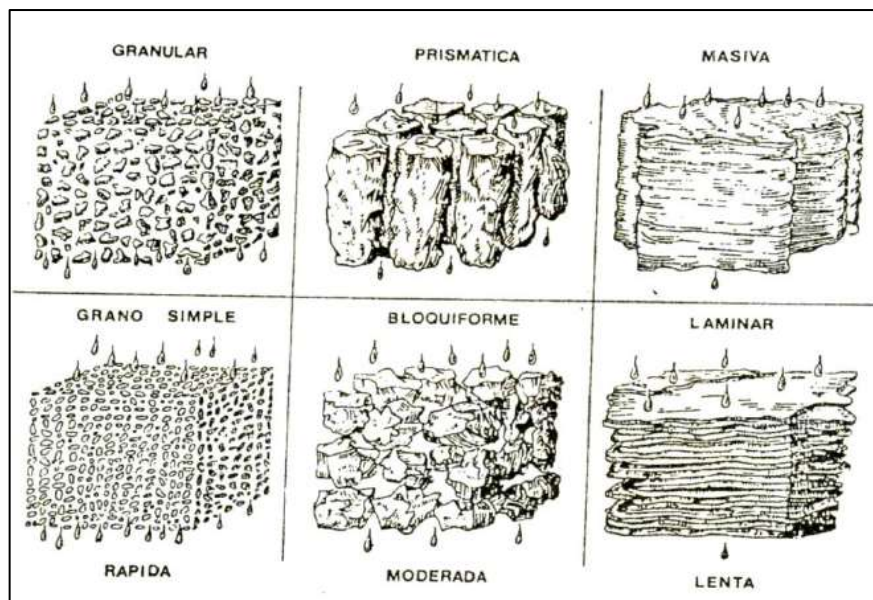


Figura 35-2: Principales estructuras del suelo

Fuente: EEA-INTA; 2016, p.29.

La textura del suelo permite diagnosticar la capacidad de intercambio iónico, parámetro de gran relevancia para la absorción de nutrientes. Propiedad que determina la cantidad de agua que el suelo tiene la capacidad de retener.

Tabla 2-2: Principales estructuras del suelo.

Predominio de factores	Sensación al tacto.
Arena	Áspera, granos sueltos.
Areno franco	Áspero al tacto, con sensación de partículas más finas.
Franco arenosa	Textura suave al inicio, al ser frotada empieza a dominar una sensación arenosa.
Franco	Los terrones pueden ser firmes, al ser pulverizada, la sensación del tacto no es ni suave ni áspera.
Franco limoso	Los agregados son muy firmes, pero se rompen bajo presión moderada.
Franco arcilloso	Agregados muy firmes y duros, resistentes a romperse con la mano.
Limos	Sedosa con agregados de consistencia dura, muy resistentes a dejarse romper con la mano.
Arcilla	Adherente o plástica.

Fuente: EEA-INTA; 2016.

Realizado por: Espinoza Patricio, 2020.

Debido a que el laboratorio GIDAC no cuenta con los equipos necesarios para determinar la textura, un parámetro crucial para determinar posteriormente la permitividad de los suelos, se procedió a utilizar un método alternativo para determinar el porcentaje (%) de arena, limo y arcilla como se observa en la figura 36-2.

- En una probeta colocamos 4 cm de agua con 20 gr de la muestra en estudio, se revuelve la mezcla dejando en reposo por 1h.
- Se realiza una regla de tres simple, para determinar el porcentaje de cada elemento dependiendo la medida que cada capa ocupa en la probeta.



Figura 36-2: Textura de las muestras.
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Una vez que se tienen los porcentajes de cada elemento que conforma la muestra de los tres terrenos (arena, limo y arcilla), al obtener estos resultados los comparamos con la base en la tabla 3-2 para identificar la clase textural a la que pertenece dicho terreno.

Tabla 3-2: Textura de los suelos.

Nombres vulgares de los suelos(textura general)	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso
Suelos francos (textura mediana)	23-52	28-50	7-27	Franco
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso
	0-20	88-100	0-12	Limoso
Suelos francos (textura moderadamente fina)	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso
	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso
Suelos arcillosos (textura fina)	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso

Fuente: http://www.fao.org/tempref/Fl/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm#top

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Para finalizar el proceso de caracterización, con un proceso tradicional, una vez obtenida la textura por uno o varios de los análisis físicos-químicos hechos a cada muestra, se debe dirigir a

la tabla 4-2 y según cada tipo de material, identificamos la permitividad correspondiente para dicho suelo.

Tabla 4-2: Parámetros electromagnéticos para diferentes tipos de suelos y para materiales no compactados.

Material	ϵ_r	$\sigma(mS/m)$	v (cm/ns)	α (dB/m)
Aluviones	9-23	10-100	6.3-10	-
Arcilla seca	3	0.25	17.3	0.28
Arcilla húmeda	8-15	50-1000	8.6-11	20
Arcilla limosa	30-50	>1000		
Arena seca	3-6	0.01	12-17	0.01
Arena húmeda	20-30	0.1-1	5.5-6	2.3
Arena costera seca	10		9.5	0.03-0.3
Limos secos	3-10			-
Limos saturados	10-40	1-100	7-9.5	6
Grava	<8	<0.8	>10.6	-
Grava arenosa saturada	15-22	<0.8	7.7-6.4	-
Suelo agrícola	9-25	1-100	6-10	-
Suelo agrícola medio	15	-	7.7	-
S. agr. Grueso seco	8-15	0.8	10.6-7.7	-
S.agr. areno-limoso (saturado)	10-15	0.8-1.5	9.5-7.7	-
S.agr. húmedo	15-22	1.5-2	7.7-6.4	-
S.agr. saturado	20-26	0.8-1.5	6.7-5.9	-
Suelo arcilloso seco	2-3	0.1-1	21.2-17.3	-
Suelo arenoso seco	2-3	0.1-1	21.2-17.3	-
Suelo de bosque	12			-
Suelo de marismas	12	-	8.6	-
Suelo de pastoreo	13	-	8.3	-
Suelo limoso seco	2-3	0.1-1	21.2-17.3	-
Suelo promedio	16	-	7.5	-
Turba	50-78	1-2	3.4-4.2	-

Fuente: Vega Perez 2001 p211

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

La permitividad relativa de cada diferente tipo de suelo de la tabla 4-2, es la base de validación para los datos que se obtendrán en el siguiente capítulo de resultados, de cada valor en los tres diferentes terrenos al realizar los barridos respectivos del suelo.

2.5. Implementación del prototipo

2.5.1. Área de muestreo

La toma de datos de cada muestra fue obtenida en campo para su análisis, mientras en laboratorio se definió el área de barrido, el cual será analizada para la toma de datos los cuales serán comparados en los resultados finales.

Como muestra la figura 37-2 los terrenos analizados tienen un área de 100m^2 , cada punto de captación de datos tendrá una separación de 2m una de la otra, donde en cada punto se envió y recibió la señal de cada muestra por medio de la tarjeta USRP-2932, con 3 repeticiones en cada punto (muestras), para ser analizadas y obtener el resultado del coeficiente de reflexión, base para calcular la permitividad; dando un total de 75 resultados por cada diferente terreno, cada muestra de terreno tuvo datos de forma manual y con un UAV para posteriormente comparar los resultados de permitividad en ambos casos con la misma muestra (total de datos 450).

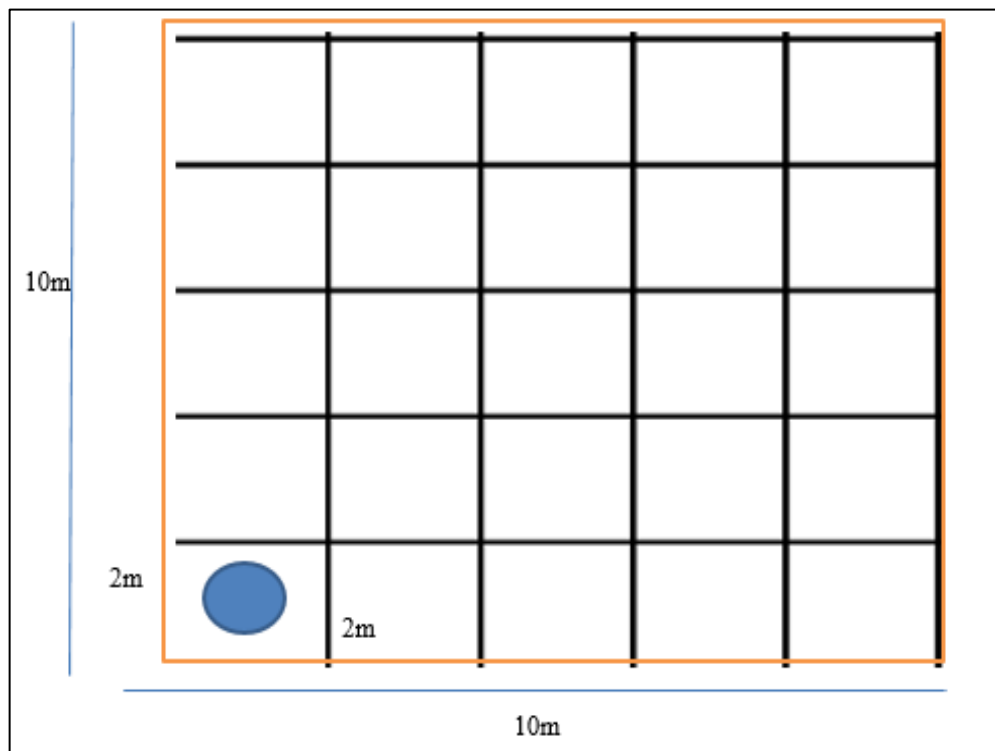


Figura 37-2: Área de análisis
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.5.2. Calibración de las señales

Para tener un procesamiento adecuado de las señales se debe obtener una señal base, realizada con el envío y recepción de un plano conductor, para el trabajo de titulación se usó una lámina de cobre de 2x0.62x0.01 m como lo muestra la figura 38-2, con esta lamina se realizaron dos pruebas:

- Primera prueba en los terrenos seleccionados para un barrido de forma manual con el uso de antenas con mayor directividad y ancho de banda para obtener datos de mayor precisión
- Segunda prueba en los mismos terrenos y área de estudio, para un barrido con UAV, con uso de diferentes antenas las cuales poseen menor directividad.



Figura 38-2: Plano conductor (cobre)
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

El requerir de un plano conductor, se debe a la necesidad de comparar dos medios, al ser un medio ya conocido como lo indica la ecuación 16-2, donde la ecuación requiere el coeficiente de reflexión de un plano conductor para calibrar la señal, y la ecuación 17-2 donde se toma como constante dieléctrica el aire en base a un previo estudio también de un plano conductor.

Por esta razón la figura 39-2 muestra la calibración de la señal a una altura de barrido de 2.5m con antenas HyperLog las cuales se mencionarán más adelante en este capítulo.

El coeficiente de reflexión obtenido con la calibración es muy cercano a la unidad con un valor de 0.9842, a partir de este valor se encera el diseño para la comparación de los datos que se

obtendrán con las señales reflejas en cada uno de los puntos, con cada muestra de los terrenos, y obtener el valor adecuado de permitividad en cada análisis.



Figura 39-2: Calibración señal barrido manual
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Los procedimientos de barrido de los terrenos con uso de un UAV también requieren de una calibración en la señal la cual se realiza en laboratorio simulando la distancia de vuelo del dispositivo a 4m, con uso de dos antenas Yagui las cuales también serán mencionadas más adelante, estas antenas poseen características diferentes a las mencionadas anteriormente HyperLog, lo que repercute en la señal la cual sufre una atenuación, en base a este concepto la calibración es diferente a la realizada de forma manual, el uso de distintas antenas y pérdida de directividad afecta en esta atenuación, lo cual es justificado ya que las señales que serán captadas de la reflexión en cada terreno también son afectadas por este sistema radiante, teniendo así una correlación entre su calibración y señal en análisis, la figura 40-2.

El proceso de calibración es el mismo al realizado con el barrido manual, para el barrido con uso del UAV, con sus respectivas antenas, transmitiendo y recibiendo la señal a los 4m de distancia, procesando este coeficiente de reflexión es de 0.8962, siendo el valor equivalente cercano a la unidad, para partir así con la recolección de los valores de permitividad finales con las ecuaciones 12-2 y 13-2.



Figura 40-2: Calibración señal barrido con UAV
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.5.3. Implementación de equipamiento manual

La adquisición de datos se la realizó de dos formas distintas, cumpliendo los objetivos del trabajo de titulación, los cuales fueron de forma manual y comparadas con el barrido con el UAV, para caracterizar el tipo de suelo.

2.5.3.1. Toma de datos manual

Para la calibración de la señal, así como para caracterizar los suelos en primera ocasión se realizó un barrido de la muestra de forma manual; montando la tarjeta USRP-2932 sobre una tabla de madera la cual soportaba el peso, colocada de forma perpendicular a una escalera “pata de gallo”, aproximadamente a 2.5m de altura desde suelo, como muestra la figura 41-2.



Figura 41-2: Toma manual de datos
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

El uso de la escalera y la tabla de madera, se debía a que las antenas HyperLog deben estar alejadas una distancia prudencial de la estructura metálica, de la cual se compone la escalera para evitar una interferencia u obtener errores en la señal; la distancia de los cables utilizados para conexión de las antenas, es de 2m por lo que entre ambos no superan los 6m de trabajo base de la tarjeta USRP-2932. De esta manera se realizó el barrido del suelo con la toma de las muestras a una separación de 2m entre punto y punto, alrededor de los 100m² que componen el área total de terreno, obteniendo 75 muestras en total; este procedimiento se lo realiza de la misma manera en los tres terrenos de la Facultad de Informática y Electrónica, Facultad de Ciencias Pecuarias y la Facultad de Recursos Naturales, entre las tres se obtiene un total de 225 datos de forma manual.

2.5.3.2. Antena Tx

La antena HyperLOG 7060, figura 42-2, posee un gran ancho de banda de operación el cual parte desde los 700 MHz hasta 6 GHz, con una ganancia de 5dBi. Las antenas log-periódicas de la compañía Aaronia están diseñadas para ofrecer una ganancia constante en un amplio rango de frecuencias y alta direccionalidad; siendo su polarización lineal: vertical y horizontal. (AARONIA, 2019., p1).



Figura 42-2: HyperLOG 7060.
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.5.3.3. Antena Rx

La antena HyperLOG 30180, figura 43-2, posee un ancho de banda definido de 380 MHz hasta 18 GHz y ganancia de 5dBi, se considera una antena periódica logarítmica (también conocida como matriz periódica logarítmica o LPDA) es una antena de haz angosto, unidireccional, de banda ancha y de elementos múltiples que tiene características de impedancia y radiación; su polarización es lineal: vertical y horizontal. La longitud y la separación de los elementos de la antena aumentan logarítmicamente de un extremo al otro y ofrecen una respuesta de ganancia muy plana. Las antenas log-periódicas de Aaronia están diseñadas para ofrecer una ganancia constante en un amplio rango de frecuencias y alta direccionalidad. (AARONIA, 2019., p1).



Figura 43-2: HyperLOG 30180.

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

El uso de estas antenas se basa en la directividad que poseen el cual es un punto favorable al querer transmitir una señal hacia la superficie del suelo y captar la señal reflejada que se produzca para su análisis.

2.5.4. Implementación de equipamiento con UAV

Una vez realizado el barrido del suelo de forma manual, se procede a montar la tarjeta USRP-2932 sobre el UAV, para repetir el proceso de barrido con esta tecnología y obtener otro grupo de datos.

2.5.4.1. Toma de datos con UAV

El primer paso requiere montar la tarjeta USRP-2932 sobre el UAV el cual soporta un peso de hasta 6Kg con baterías colocadas y cargadas, la tarjeta posee un peso de 2Kg aproximadamente, por esta razón el uso del UAV Matrice 600 es el óptimo para el trabajo de titulación.

Posterior a montar la tarjeta bajo el Matrice 600 el peso de las antenas Hyperlog y su gran tamaño, son un inconveniente para el vuelo normal del UAV, para ello se procede a una alternativa paralela con el uso de dos antenas de menor tamaño, pero con un trabajo similar en frecuencia, aunque limitado en su ancho de banda a comparación de las antenas Hyperlog, figura 44-2.



Figura 44-2: USRP-2932 montada en el M600
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Para la alimentación eléctrica de la tarjeta, la cual requiere de una corriente continua de 6V para poder funcionar continuamente, se utilizó un juego de extensiones llegando a un largo de 50m, los cuales fueron requeridos para cubrir los terrenos de estudio y poder tener una movilización

adecuada, mas no cómoda; de igual forma un cable UTP de 8m para mantener la conexión con el ordenador y poder elevar el UAV a una altura de 4m donde se procede a tomar las muestras, como muestra la figura 45-2.



Figura 45-2: Proceso de muestreo con el M600.
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

2.5.4.2. Antena Tx y Rx

Las antenas usadas de transmisión y recepción en el montaje para el barrido con el M600, por su menor tamaño y peso fueron dos antenas Yagi, las cuales son un tipo de antena direccional, las cuales se componen de un arreglo de elementos independientes de antena, donde solo uno de los elementos transmite la señal, figura 46-2. La antena tiene uno o varios elementos aislados llamados, elementos parásitos. El número de elementos directores determina la ganancia y directividad. Las antenas Yagi no son tan direccionales como las antenas parabólicas, pero son más directivas que las antenas panel.



Figura 46-2: Antenas Yagi.
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Las antenas fueron colocadas en la parte inferior de la tarjeta USRP-2932, como muestra la figura 47-2, la cual a su vez fue ajustada en la parte de carga del Matrice 600, evitando así cualquier posibilidad de obstaculizar el aterrizaje, despegue o maniobrabilidad del UAV, al ser antenas directivas y apuntar directamente a la superficie del suelo estas envían y reciben la señal, pero existe una interferencia por parte del uso del UAV, las cuales serán detalladas en el capítulo de resultados.

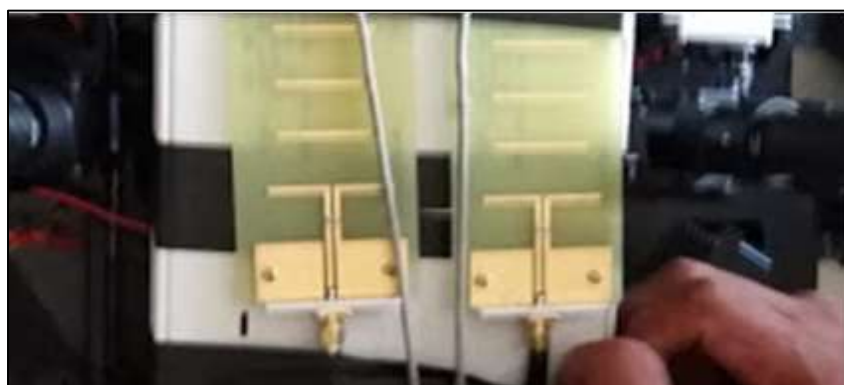


Figura 47-2: Antenas Yagi montadas para barrido con el M600.
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el presente trabajo de titulación se obtuvieron los siguientes resultados, lo cuales serán mencionados a continuación en base a la distribución de la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Terrenos de análisis.

Facultad de Informática y Electrónica	Terreno 1
Facultad de Ciencias Pecuarias	Terreno 2
Facultad de Recursos Naturales	Terreno 3

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

3.1. Resultados del análisis de suelos

Una vez realizados los análisis de cada muestra de suelo se obtuvieron los siguientes resultados.

3.1.1. Conductividad y pH

Tabla 2-3: Resultados de pH y conductividad.

pH y Conductividad		
Terreno	pH	Conductividad (uS/cm)
Terreno 1	7.56	193.4
Terreno 2	7.76	218.1
Terreno 3	7.37	160.3

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

De acuerdo al primer análisis físico-químico, tabla 2-3, las tres muestras presentan un pH mayor a 7.2, es decir de 7.56 para el terreno 1, de 7.76 para el terreno 2 y de 7.37 para el terreno 3. Con estas variaciones son considerados como alcalinos (de 7,5 a 8,5) los terrenos 1 y 2; mientras que para el terreno 3 se considera como ligeramente alcalinos (7.2 a 7.5). La conductividad muestra su valor más alto en la muestra 2 ya que la conductividad se relaciona con la textura del suelo, donde los valores son más altos por la existencia de sales solubles en los cultivos, ambos resultados mostrados en el gráfico 1-3.

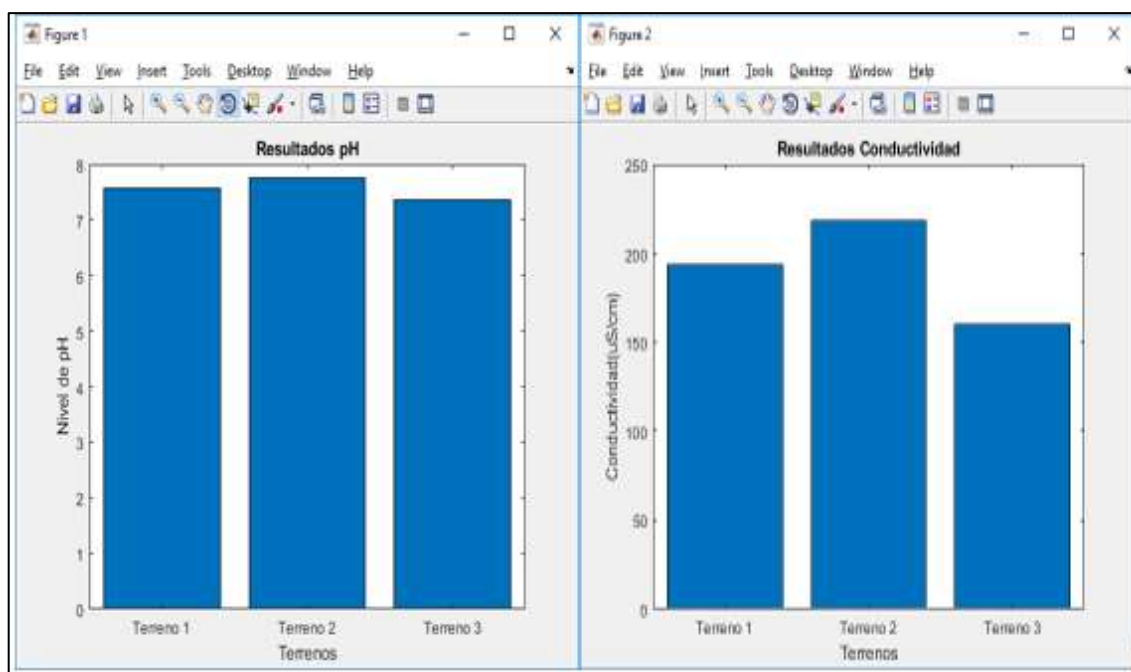


Gráfico 1-3: Resultado pH y conductividad
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

3.1.2. Humedad y densidad aparente

Tabla 3-3: Resultados de Humedad y Densidad Aparente.

Humedad y Densidad aparente		
Terreno	Humedad (promedio %)	Densidad aparente (promedio gr/cm ³)
Terreno 1	12.0354	1.2797
Terreno 2	8.5078	1.3464
Terreno 3	6.21389	1.3952

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

La tabla 3-3 refleja el % de humedad de los tres terrenos de estudio, el terreno 1 posee un mayor porcentaje de humedad con un 12.0354%, debido a que existe poca intervención humana en dichos suelos, a comparación de las dos muestras restantes. Al hablar de la densidad aparente todas las muestras no superan el 1.5 gr/cm³, esto se debe a que mientras la densidad es más baja el suelo en estudio es más húmedo debido a que posee mayor cantidad de materia orgánica, ambos resultados mostrados en el gráfico 2-3.

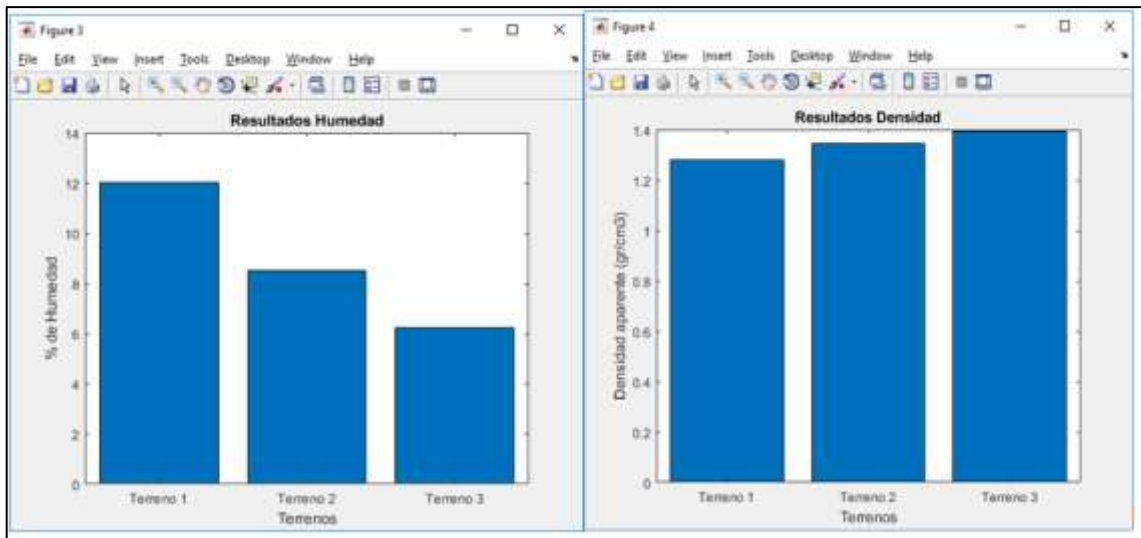


Gráfico 2-3: Resultado Humedad y Da
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

3.1.3. Color

Tabla 4-3: Resultado Color.

Color		
Terreno	Color suelo húmedo	Color suelo seco
Terreno 1	5YR 3/2	5YR 5/2
Terreno 2	5YR 3/2	5YR 6/1
Terreno 3	5YR 3/3	5YR 6/1

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Este análisis de color se realizó mediante observación, con el resultado proyectado en la tabla 4-3, comparando las tonalidades de cada terreno con las tablas de Munsell Soil Color Book (Libro de Color de Suelos), se debe diferenciar que los colores son diferentes cuando una muestra del terreno es recogida por tener mayor humedad, diferente al color que toma la muestra después de 24h de secado al aire libre, debido a que la humedad presente en ella se evapora.

3.1.4. Textura y estructura

En cuanto a la estructura no hay mayor complicación ya que las tres muestras se las puede definir de la misma manera con una prueba a simple vista por su composición, dando el resultado de una estructura **GRANULAR**.

La propiedad más relevante para el trabajo de titulación es la textura del suelo, debido a que a través de ella y por medio de la tabla 2-2 podemos definir qué clase de suelo es; con este dato y a

su vez el uso de la tabla 3-2, podemos obtener el valor de la permitividad relativa (constante dieléctrica) correcto para cada tipo de suelo, mostrados en la tabla 5-3.

Tabla 5-3: Resultados Textura.

Textura						
Terreno	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura (final)	Material	ϵ_r
Terreno 1	71.4329	11.9048	16.666	Franco arenoso	Suelo arenoso seco	2-3
Terreno 2	55.55	11.11	33.33	Franco arenoso arcilloso	Suelo arenoso seco	2-3
Terreno 3	33.33	11.11	55.55	Arcilloso	Suelo arcilloso seco	2-3

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

El terreno 1 como lo muestra el gráfico 3-3, a través de la tabla 2-2, por los porcentajes que cada uno de sus elementos posee, se define como un suelo franco arenoso, debido a que el mayor porcentaje entre sus tres elementos es la arena con el 71.4329%, a través de estos tres porcentajes que componen el suelo obtenemos por medio de la tabla 3-2, la permitividad de este suelo siendo un rango de 2-3, el cual será confirmado con las pruebas de campo.



Gráfico 3-3: Porcentajes de Textura Terreno 1

Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

El terreno 2 a través de la tabla 2-2, con los porcentajes obtenidos de sus elementos se define como un suelo franco arenoso arcilloso, ya que el mayor porcentaje de sus elementos que lo componen fue la arena con el 55.55%, menor a la muestra 1, es por esta razón y por el aumento en su porcentaje de arcilla de 33.33% que la textura de este suelo cambia; posteriormente

obtenemos por medio de la tabla 3-2, la permitividad de este suelo siendo un rango de 2-3, el cual será confirmado con las pruebas de campo como lo muestra el gráfico 4-3.



Gráfico 4-3: Porcentajes de Textura Terreno 2
Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

Finalmente, el gráfico 5-3, indica los porcentajes pertenecientes a la muestra 3, la cual tuvo un cambio radical en su textura, en comparación con los analizados anteriormente, observamos por medio de la tabla 2-2, el cual al tener un porcentaje de arcilla de 55.55% mayor a las dos muestras anteriores, se define como un suelo arcilloso, por su material se define según la tabla 3-2, este suelo mantiene el rango de permitividad igual a las muestras previas.

Los resultados obtenidos con cada análisis físico-químico, realizados a los tres terrenos presentan una pequeña diferencia entre ellos, debido a que los suelos a pesar de estar separados una distancia considerable entre cada uno, estos se encuentran dentro de un mismo predio (ESPOCH), pese a ello tienen una textura diferente en porcentajes de cada elemento que los compone, el cual es el valor predominante para el trabajo de titulación (permitividad), para posterior validación.



Gráfico 5-3: Porcentajes de Textura Muestra 3
 Realizado por: Espinoza, Patricio; 2020.

3.2. Resultados de campo

En esta sección se analizó los datos obtenidos por medio de la implementación del prototipo y la recolección de los datos sobre el barrido de cada suelo de forma manual y con el uso del UAV obteniendo los siguientes resultados:

3.2.1. Datos del terreno de la Facultad de Informática y Electrónica

En primer lugar, se analizó los datos obtenidos del barrido del terreno de forma manual, se realizaron 75 muestras en cada uno de los puntos seleccionados para su procesamiento, en el área definida de 100m² en el terreno de la Facultad de Informática y Electrónica, definido como terreno 1, tabla 1-3, con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 6-3.

Tabla 6-3: Datos permitividad Terreno 1.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Punto 1	2,8739	2,9810	2,8809	2,9119
Punto 2	2,3200	1,9384	2,1201	2,1262
Punto 3	2,3490	1,9384	2,1436	2,1437
Punto 4	2,8109	2,7814	2,7424	2,7782

Continuación tabla 6-3 Datos permitividad Terreno 1.

Punto 5	2,5890	2,3675	2,3596	2,4387
Punto 6	2,0422	1,9387	2,1457	2,0422
Punto 7	2,1925	2,1274	2,1905	2,1701
Punto 8	2,0908	2,2648	2,1778	2,1778
Punto 9	2,7561	2,6377	2,8634	2,7524
Punto 10	2,5270	2,7843	2,2703	2,5272
Punto 11	2,8317	2,6755	2,9880	2,8317
Punto 12	3,2251	3,1247	3,0243	3,1247
Punto 13	3,0918	3,0185	2,9453	3,0185
Punto 14	2,3150	2,6078	2,5909	2,5046
Punto 15	2,4543	2,5950	2,5313	2,5269
Punto 16	2,3751	2,4608	2,3761	2,4040
Punto 17	2,5370	2,7219	2,9070	2,7220
Punto 18	2,8452	2,8117	2,8798	2,8456
Punto 19	2,7808	2,7580	2,8937	2,8108
Punto 20	2,9830	2,8953	2,8592	2,9125
Punto 21	2,1741	2,2128	2,4031	2,2633
Punto 22	2,6558	2,8150	2,8015	2,7574
Punto 23	2,6635	2,5892	2,3723	2,5417
Punto 24	2,0701	2,1584	2,3490	2,1925
Punto 25	2,5167	2,5132	2,4269	2,4856
Promedio Total				2,5604

Realizado por: Espinoza Patricio, 2020.

Una vez realizado el procesamiento de los resultados obtenidos de los 25 puntos correspondientes al terreno 1, en los 100m² de terreno con las 3 muestras. Los resultados obtenidos son congruentes con la investigación al arrojar un total de 89,34% de las muestras se encuentran en el rango de permitividad respectiva al suelo franco arenoso (2-3); el 6,66% sobrepasa el rango mayor a 3 de permitividad, y el 4% final tiene un rango menor a 2, gráfico 6-3. Cabe mencionar que el terreno de la muestra 1 existía un grado moderado de vegetación la cual no pudo ser removida en su totalidad, por contener mayor indicie de vegetación, dicha zona retiene más agua aumentando el % de humedad del suelo incrementando a su vez la permitividad.

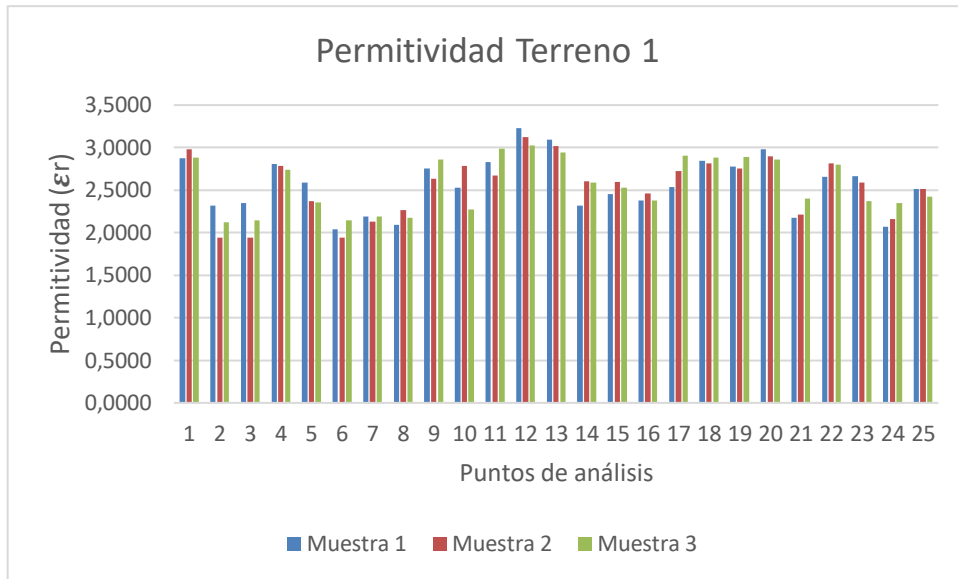


Gráfico 6-3: Permitividad Terreno 1
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

Para cada apartado donde se muestran los resultados se optó por presentarlos en un gráfico 3D, en el cual se ubica cada valor de permitividad obtenido por cada punto con sus tres respectivas muestras, presentadas de forma ascendente del punto 1 al punto 25 de forma ordenada en las siguientes figuras:

Para el gráfico 7-3 en 3D, el cual presenta como la permitividad varia y toma colores respectivos a su valor desde el más bajo al más alto, mostrando como la variación se da entre punto y punto dentro del terreno de 100m² del terreno 1.

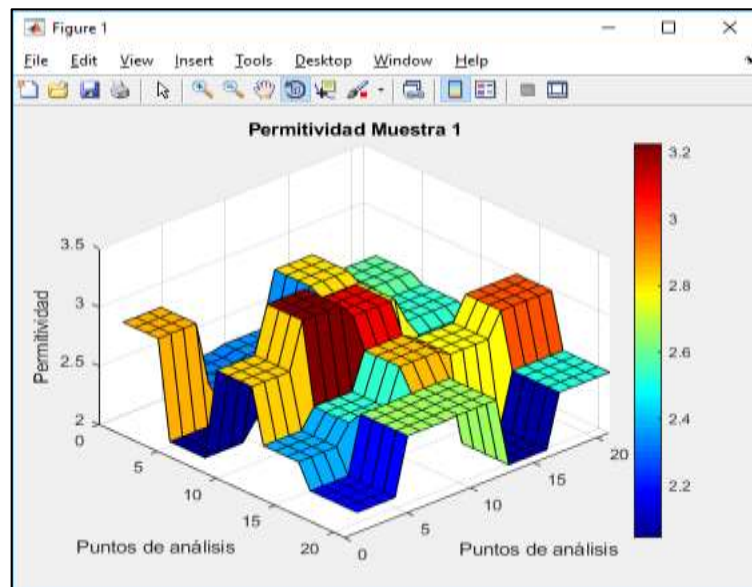


Gráfico 7-3: Permitividad Muestras 1 forma 3D.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 8-3, podemos observar como las 25 primeras muestras respectivas a los 25 puntos dentro del área del terreno 1, varían según su valor de permitividad con su color respectivo como lo muestra la barra de colores, siendo un valor menor a 2.2 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 3.2, colocados de forma ascendente y ordenada.

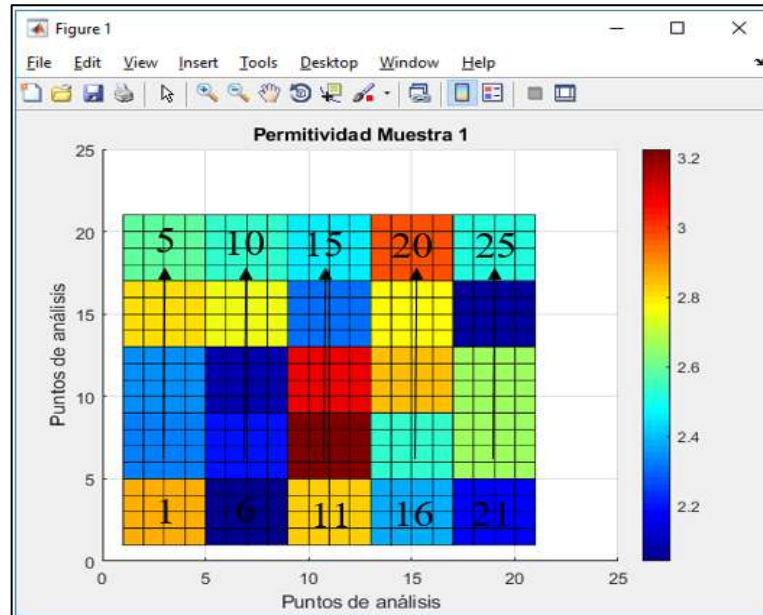


Gráfico 8-3: Permitividad Muestras 1 forma plano

Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 9-3 en 3D, se presenta la permitividad por cada punto y como varía según niveles en cada muestra uno con relación a otro, dentro del área de 100m² del terreno 1.

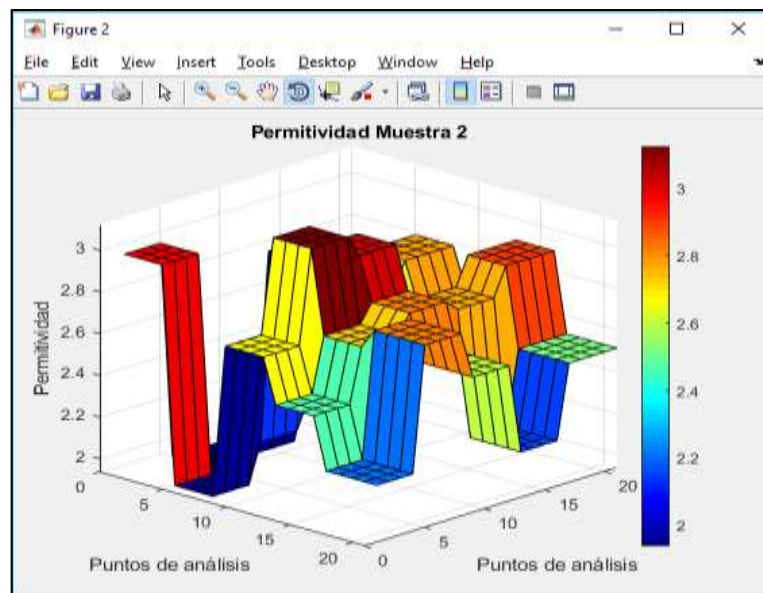


Gráfico 9-3: Permitividad Muestras 2 forma 3D

Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 10-3, podemos observar como la segunda toma de muestras respectivas a los mismos 25 puntos dentro del área del terreno 1 varían según su valor de permitividad con su color respectivo como lo muestra la barra de colores siendo un valor menor a 2 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 3, colocados de forma ascendente y ordenada.

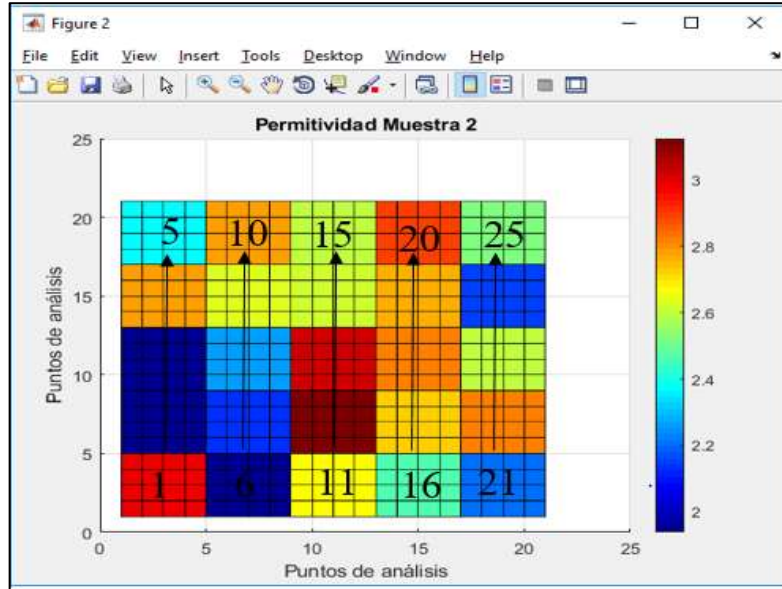


Gráfico 10-3: Permittividad Muestras 2 forma plano
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

Para terminar el barrido manual del terreno 1, observamos en el gráfico 11-3 en 3D, la permitividad por cada punto y como en la zona central posee valores más constantes de permitividad dentro del rango propio del suelo con una pequeña variación; dentro del terreno de 100m² del terreno 1.

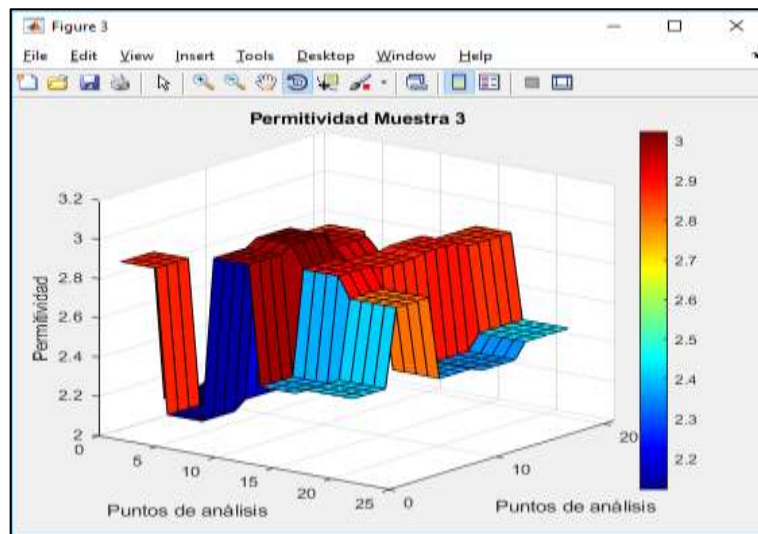


Gráfico 11-3: Permittividad Muestras 3 forma 3D
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 12-3, en el terreno 1, podemos observar como la última toma de muestras respectivas a los mismos 25 puntos, donde varía según su valor de permitividad, siendo un valor menor a 2.2 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 3, colocados de forma ascendente y ordenada.

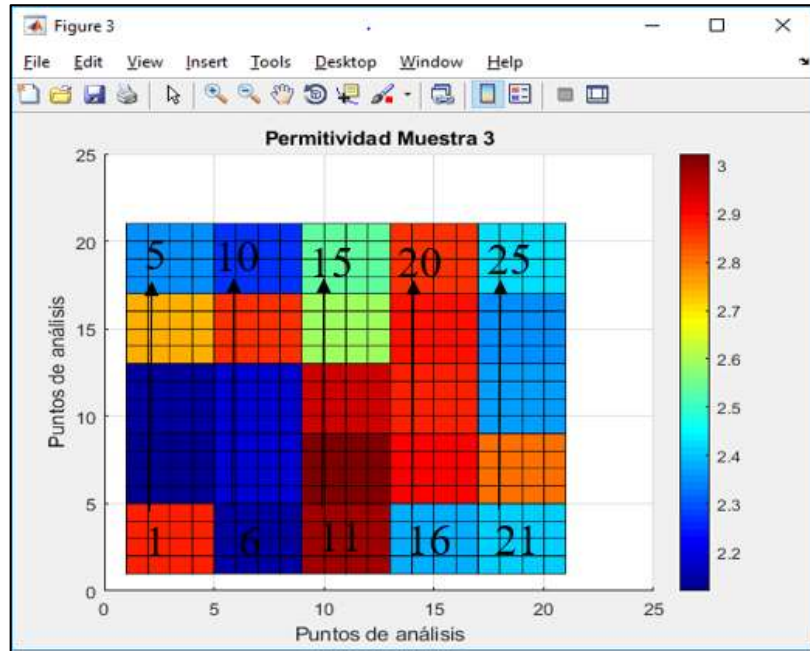


Gráfico 12-3: Permitividad Muestras 3 forma plano
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

El barrido realizado de forma manual, presenta los resultados anteriormente expuestos, los cuales fueron tomados en un lapso de tiempo total de 2 horas 50 minutos, el día 3 de Enero de 2020 en el terreno de la facultad de Informática y Electrónica, iniciando el proceso a las 15 horas 54 minutos y finalizando el tercer barrido a las 18 horas 44 minutos, a lo cual se puede determinar que estos resultados son válidos para este terreno en horas de la tarde, sin embargo se puede realizar estudios en diversas horas del día, también en otras estaciones climáticas del año, tomando en consideración los cambios externos (cambios naturales) que puede recibir el terreno, lo cual afectará los resultados con una leve variación en la permitividad, como ya fue mencionado con anterioridad por modificación en humedad, vegetación, entre otros.

A continuación, se analizó los datos obtenidos por el barrido con el M600, donde también se realizaron 75 muestras (repeticiones) para su procesamiento, en el área definida de 100m² en el mismo terreno 1, con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 7-3: Datos permitividad terreno 1 con M600.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Punto 1	2,1188	2,0910	2,1049	2,1049
Punto 2	2,1151	2,1239	2,1107	2,1166
Punto 3	2,1046	2,1237	2,1239	2,1174
Punto 4	2,1239	2,1248	2,1012	2,1166
Punto 5	2,1183	2,1188	2,0910	2,1094
Punto 6	2,1183	2,1261	2,1067	2,1170
Punto 7	2,1186	2,0923	2,0046	2,0718
Punto 8	2,0776	2,1957	2,1361	2,1365
Punto 9	2,0502	2,0664	2,0162	2,0443
Punto 10	2,1237	2,0046	2,1239	2,0841
Punto 11	2,5245	2,2783	2,0466	2,2831
Punto 12	2,9027	2,8367	2,7716	2,8370
Punto 13	2,0952	2,0659	2,1248	2,0953
Punto 14	2,6192	2,5641	2,8122	2,6652
Punto 15	2,6234	2,7499	2,5341	2,6358
Punto 16	2,1407	2,1151	2,1270	2,1276
Punto 17	2,6773	2,7378	2,6175	2,6775
Punto 18	2,0759	2,0579	2,1188	2,0842
Punto 19	2,0573	2,0595	2,0617	2,0595
Punto 20	2,8966	3,0157	2,7456	2,8860
Punto 21	2,0316	2,0950	2,0631	2,0632
Punto 22	2,0829	2,0736	2,0643	2,0736
Punto 23	2,0467	2,0316	2,0004	2,0262
Punto 24	2,1239	2,1370	2,1237	2,1282
Punto 25	2,1239	2,1239	2,1248	2,1242
Promedio Total				2,2314

Realizado por: Espinoza Patricio, 2020

Realizado el procesamiento de los 25 puntos correspondientes al terreno 1, con el uso del UAV Matrice 600 en los 100m², con sus tres muestras (repeticiones), los resultados arrojan datos interesantes, donde la señal sufre una atenuación como ya fue mencionado en el capítulo anterior, cuyos valores pueden ser observados en la tabla 7-3, mostrando que sus valores de permitividad continúan dentro del rango validado en los análisis físico-químicos, con una leve disminución a

los datos obtenidos con el barrido manual, donde también trabajan factores externos (ambiente, lluvia, variación atmosférica, sol, etc.) modificando levemente dichos valores, al ser analizado el terreno en diferentes días, gráfico 13-3.

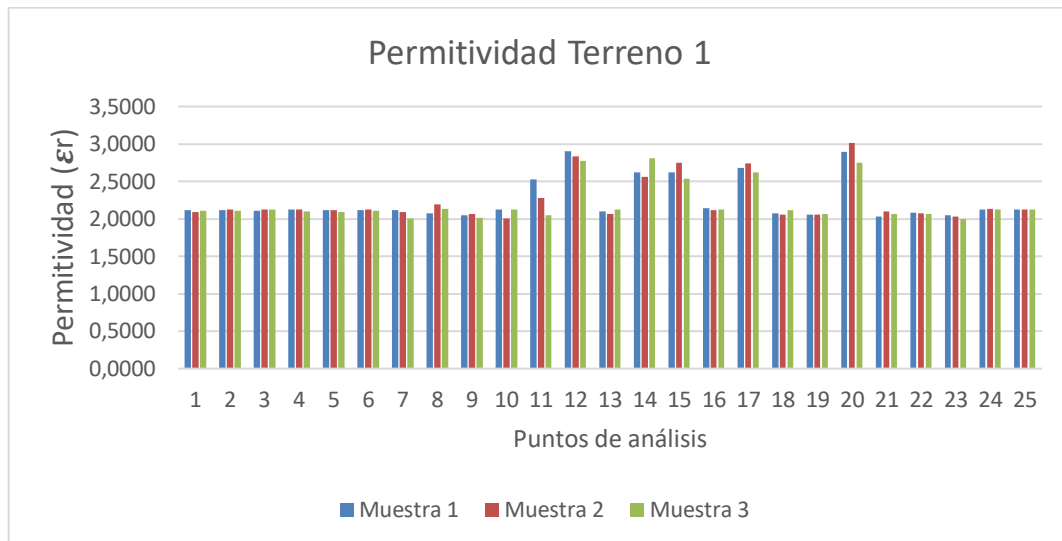


Gráfico 13-3: Permitividad medida con el M600
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

Para el gráfico 14-3 en 3D, se aplica el uso del M600 para el barrido, donde presenta valores variables de permitividad, pero con una atenuación mayor al barrido sin uso del UAV, estos valores atenuados van tomando colores respectivos a su valor desde el más bajo al más alto, dentro del terreno de 100m² analizado previamente.

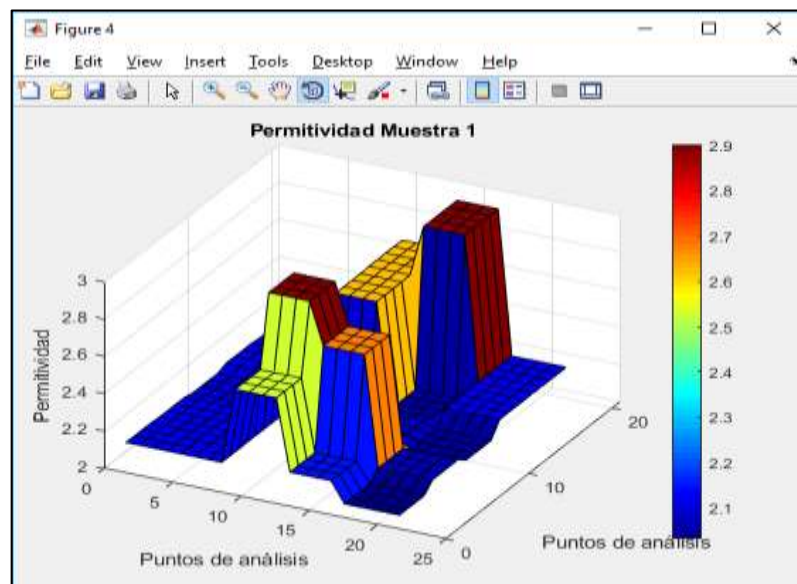


Gráfico 14-3: Permitividad Muestras 1 con M600 forma 3D
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 15-3 podemos observar como las primeras 25 muestras tomadas con el uso del M600 del terreno 1 colocadas en cada punto obtienen una barra de colores siendo un valor menor a 2.1 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 2.9, donde el valor con mayor permitividad se sitúa en la muestra 12 con 2.9027.

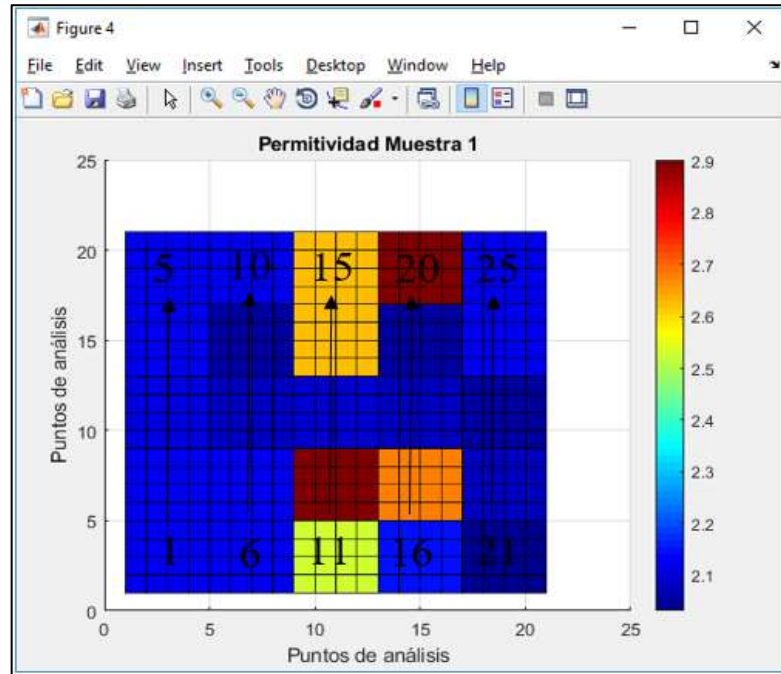


Gráfico 15-3: Permittividad Muestras 1 con M600 forma plano
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 16-3 en 3D, con el uso del M600, se presenta la permitividad por cada punto y como existe una variación entre ellos, los cuales van tomando niveles altos, mientras más elevado es su valor.

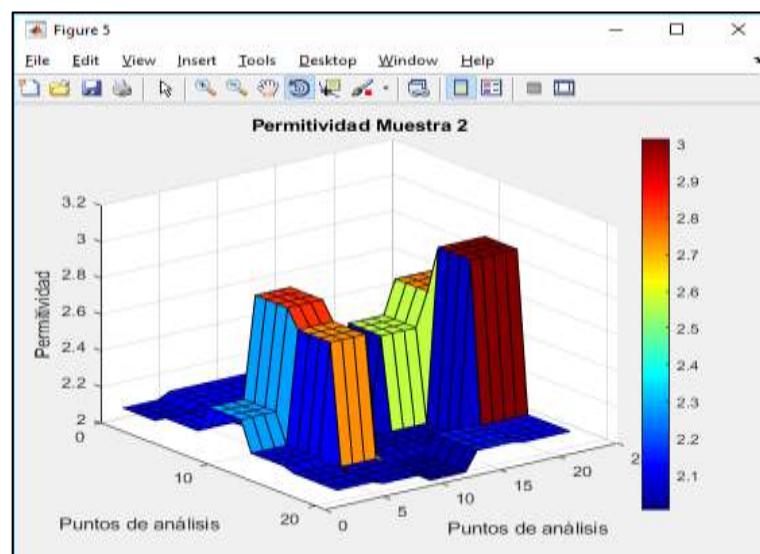


Gráfico 16-3: Permittividad Muestras 2 con M600 forma 3D
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 17-3 podemos observar como la segunda toma de muestras respectivas a los mismos 25 puntos dentro del área del terreno 1, barridos con el M600, varían según su valor de permitividad con su color respectivo como lo muestra la barra de colores siendo un valor menor a 2.1 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 3, siendo de los 25 resultados de la muestra el valor más alto de 3.0157, estos valores son mostrados de forma ascendente y ordenada.

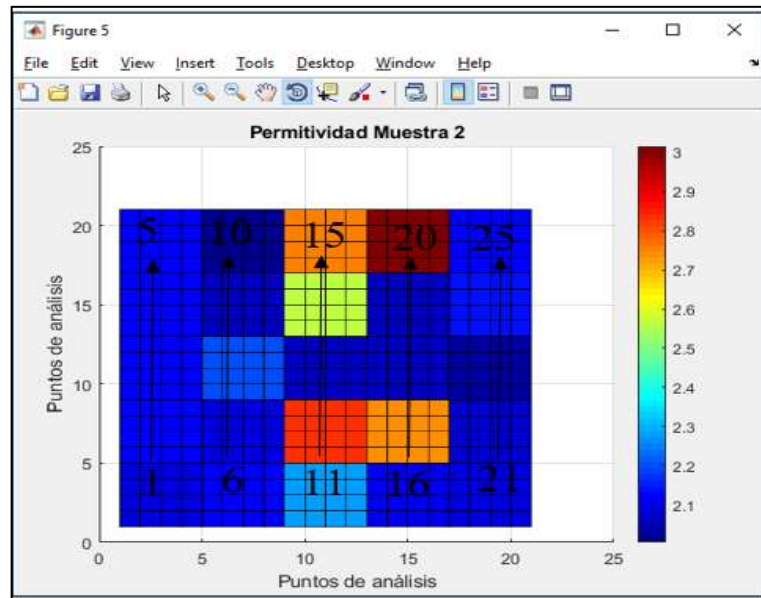


Gráfico 17-3: Permitividad Muestras 2 con M600 forma plano
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

Finalizó el barrido de los datos extraídos de forma manual y con el M600 del terreno 1, presentado en el gráfico 18-3 en 3D, la permitividad obtenida con el barrido del UAV por cada punto, los cuales toman un nivel alto y en su mayoría bajo con colores respectivos a su valor; dentro del terreno de 100m².

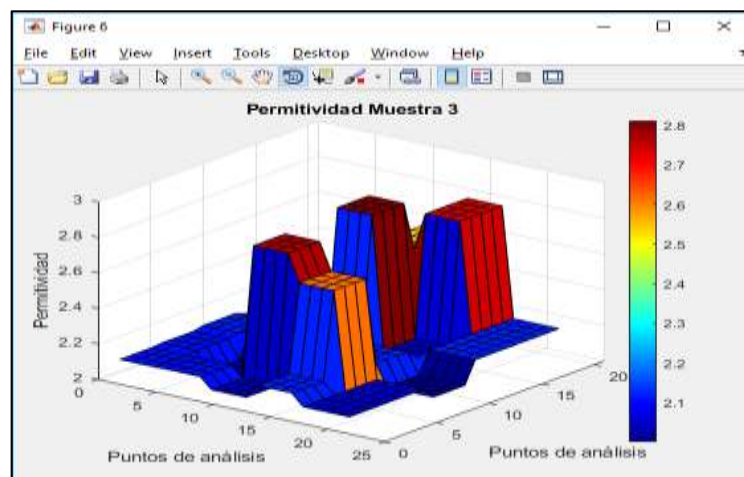


Gráfico 18-3: Permitividad Muestras 3 con M600 forma 3D
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 19-3, de la muestra correspondiente al terreno 1, podemos observar como la última toma de muestras respectivas a los mismos 25 puntos varían según su permitividad como lo muestra la barra de colores, con un valor menor a 2.1 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 2.8, colocados de forma ascendente y ordenada, siendo el valor más alto en permitividad de 2.8122.

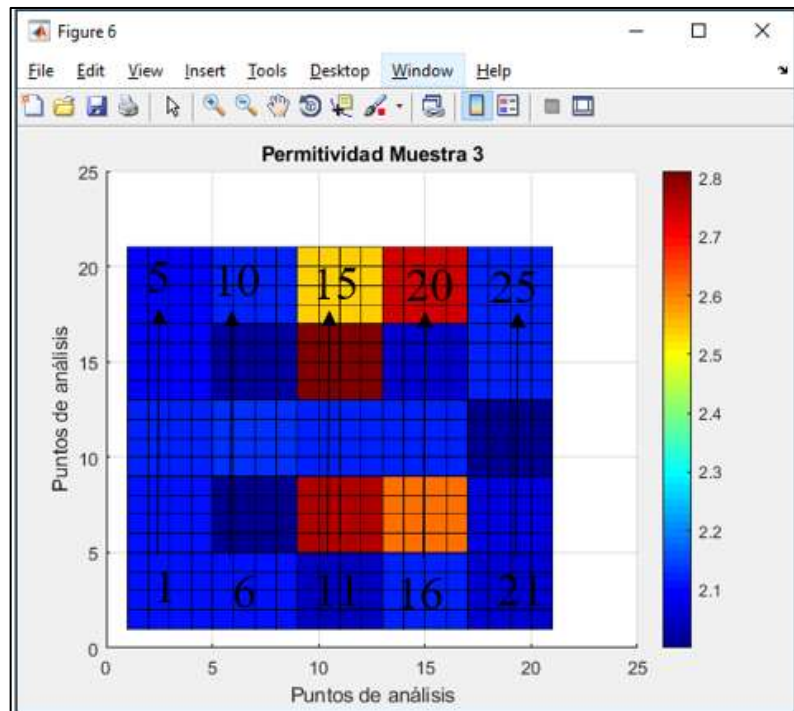


Gráfico 19-3: Permitividad Muestras 3 con M600 forma plano
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

El barrido realizado con el M600, presenta los resultados anteriormente expuestos, los cuales fueron tomados en un lapso de tiempo total de 2 horas 06 minutos , el día 7 de Enero de 2020 en el terreno de la Facultad de Informática y Electrónica, el proceso de barrido inicio a las 11 horas 24 minutos y finalizando el tercer barrido a las 13horas 30minutos, a lo cual se puede determinar que estos resultados son válidos para este terreno en horas de la mañana, a la par de los previos realizados en horas de la tarde con el barrido manual dando así un resultado óptimo entre ambos análisis de datos en horarios diferentes, sin embargo se puede realizar estudios en diversas estaciones climáticas del año, tomando en consideración los cambios externos (cambios naturales) que puede recibir el terreno, lo cual afectará los resultados con una leve variación en la permitividad, como ya fue mencionado con anterioridad por modificación en humedad, vegetación, entre otros.

3.2.2. Datos del terreno de la Facultad de Ciencias Pecuarias

Como se mencionó en el capítulo anterior se realizó tres procesamientos de muestras (75 capturas de las señales), en el área definida de 100m², en el terreno 2 definido en la tabla 1-3, de la misma forma que se realizó en el terreno 1, con lo cual se obtuvieron los resultados del barrido manual en primera instancia, en la tabla 8-3.

Tabla 8-3: Datos permitividad Terreno 2.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Punto 1	2,8324	2,8634	2,7843	2,8267
Punto 2	1,5990	1,8914	1,7451	1,7452
Punto 3	2,2648	2,4277	2,5909	2,4278
Punto 4	2,5950	2,5313	2,6078	2,5780
Punto 5	1,9728	2,3150	2,0340	2,1073
Punto 6	1,5205	1,4793	1,4999	1,4999
Punto 7	2,2504	2,3751	2,5084	2,3780
Punto 8	3,0782	3,0875	3,0689	3,0782
Punto 9	2,7925	2,6558	2,5167	2,6550
Punto 10	2,6751	2,6994	2,7237	2,6994
Punto 11	2,2875	2,2031	2,2320	2,2409
Punto 12	2,6833	2,9070	3,0895	2,8933
Punto 13	2,7774	3,0597	2,9185	2,9185
Punto 14	2,8937	2,9830	2,8953	2,9240
Punto 15	2,2030	2,1741	2,2128	2,1966
Punto 16	3,0271	2,6558	2,8153	2,8327
Punto 17	2,8739	2,9810	2,8809	2,9119
Punto 18	1,7875	1,9384	1,6368	1,7876
Punto 19	2,8681	2,8109	2,7814	2,8201
Punto 20	2,2867	2,1925	2,1274	2,2022
Punto 21	2,1905	2,0908	2,2648	2,1820
Punto 22	2,8741	2,7561	2,8015	2,8106
Punto 23	2,1677	2,5892	2,5375	2,4315
Punto 24	2,0608	2,1584	2,2645	2,1612
Punto 25	3,0894	2,8798	2,9846	2,9846
Promedio Total				2,4917

Realizado por: Espinoza Patricio, 2020

Una vez realizado el procesamiento de los 25 puntos correspondientes al terreno 2, en los 100m², los resultados en este terreno también son congruentes con la investigación al arrojar un total de 77,34% de las muestras se encuentran en el rango de permitividad relativa del suelo franco arenoso arcilloso (2-3); el 9,33% sobrepasan el rango de permitividad mayor a 3, esto se debe a que este terreno posee una mayor zona de cultivos donde los estudiantes realizan sus prácticas, y el 13,33% final tiene un rango menor a 2. Cabe mencionar que el terreno de la muestra 2 cuenta con una zona con mayor tipo de vegetación debido a que estudiantes de la facultad a la cual pertenece el terreno de análisis, realizan prácticas de cultivos, rangos observados en el gráfico 20-3.

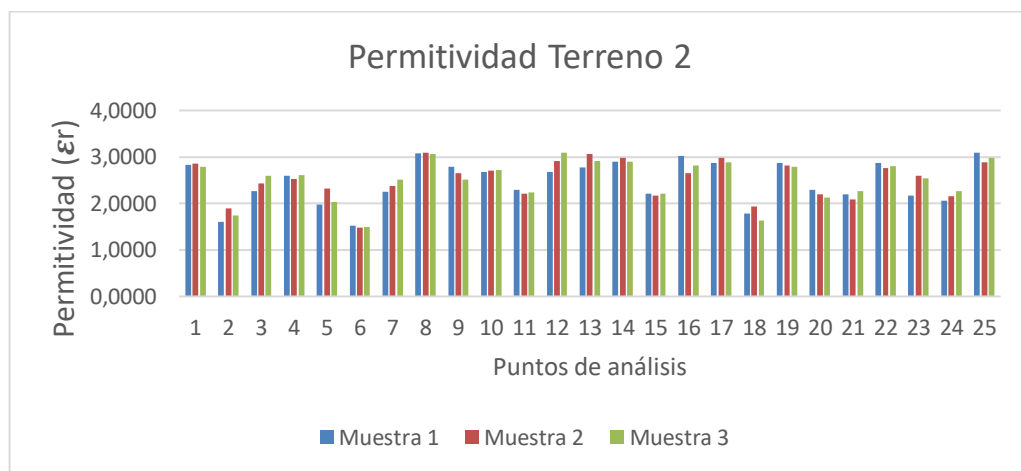


Gráfico 20-3: Permitividad Terreno 2.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

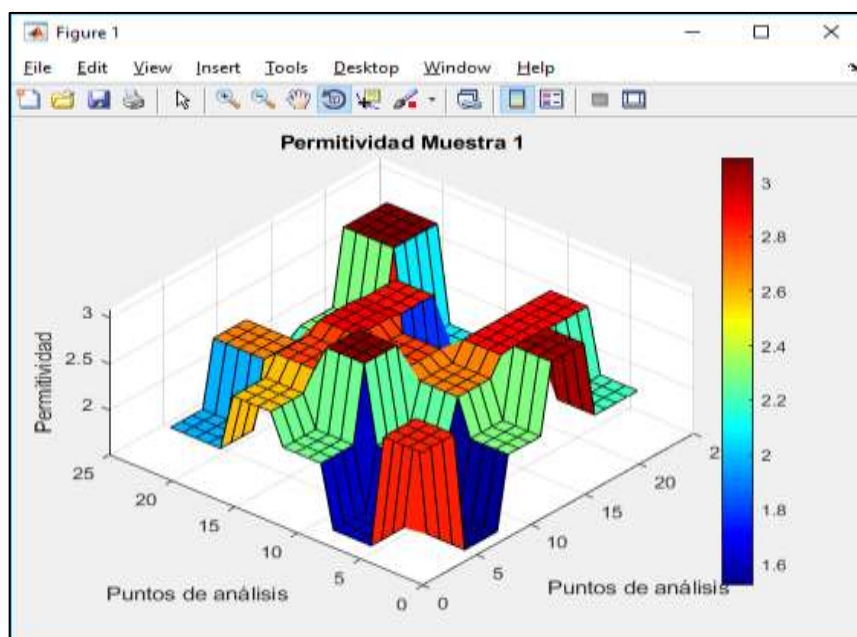


Gráfico 21-3: Permitividad Muestras 1 forma 3D
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

Los datos obtenidos en el terreno 2 son observadas en el gráfico 21-3 en 3D, del primer barrido manual del suelo, el cual presenta niveles de permitividad muy variables entre cada punto del terreno 2 en estudio.

En el gráfico 22-3 podemos observar como las 25 primeras muestras respectivas a los 25 puntos dentro del área del terreno 2, varían según su valor de permitividad con su color respectivo como lo muestra la barra de colores, siendo un valor menor a 1.6 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 3, colocados de forma ascendente y ordenada.

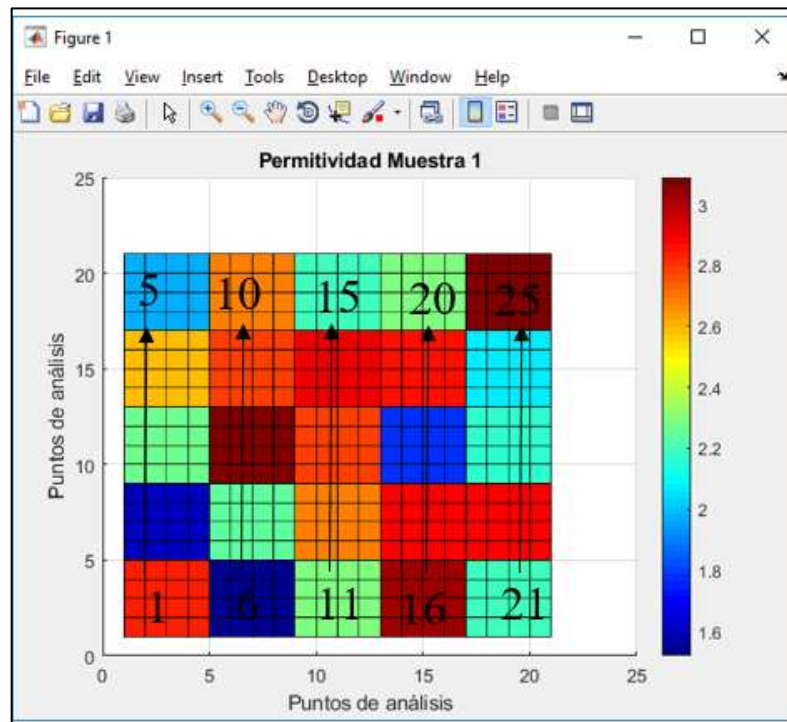


Gráfico 22-3: Permittividad Muestras 1 forma plano
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 23-3 en 3D, se presenta la permitividad por cada punto en el barrido del suelo, donde los niveles son variables, desde un valor menor a uno mayor, teniendo en el centro del terreno la mayor concentración de datos constantes.

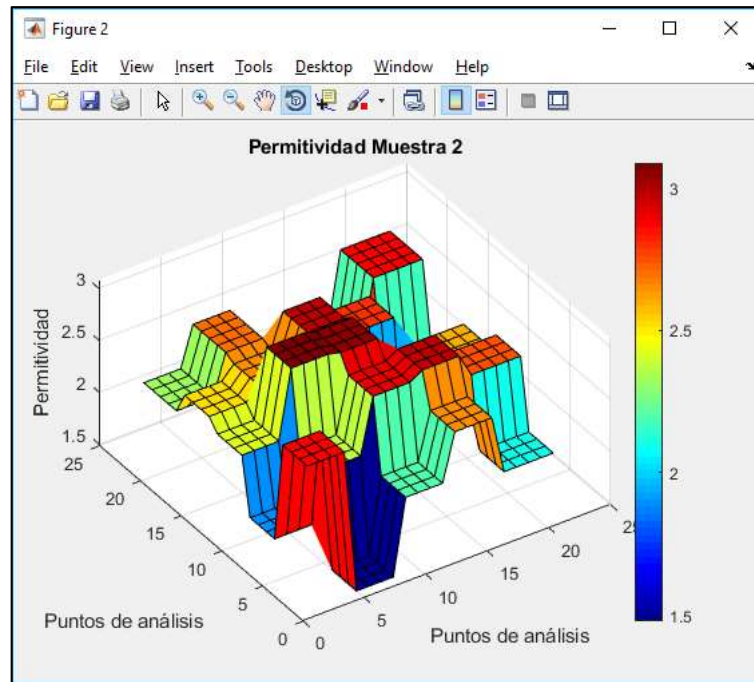


Gráfico 23-3: Permitividad Muestras 2 forma 3D
 Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 24-3 podemos observar como la segunda toma de muestras respectivas a los mismos 25 puntos dentro del área del terreno 2, varían según su valor de permitividad con su color respectivo como lo muestra la barra de colores siendo un valor menor a 1.5 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 3, colocados de forma ascendente y ordenada.

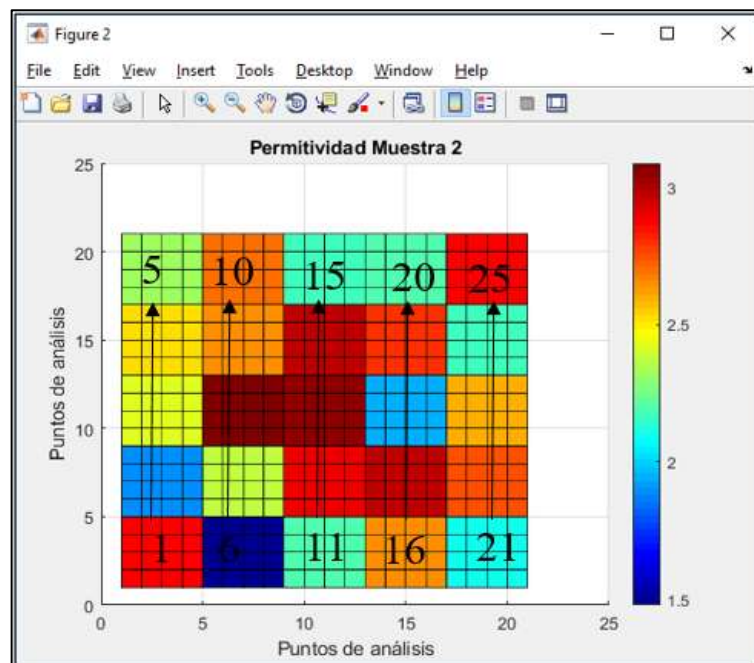


Gráfico 24-3: Permitividad Muestras 2 forma plano.
 Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

Para terminar con el barrido manual del terreno 2, observamos en el gráfico 25-3 en 3D, la permitividad por cada punto alrededor de los 100m² y sus niveles respectivos.

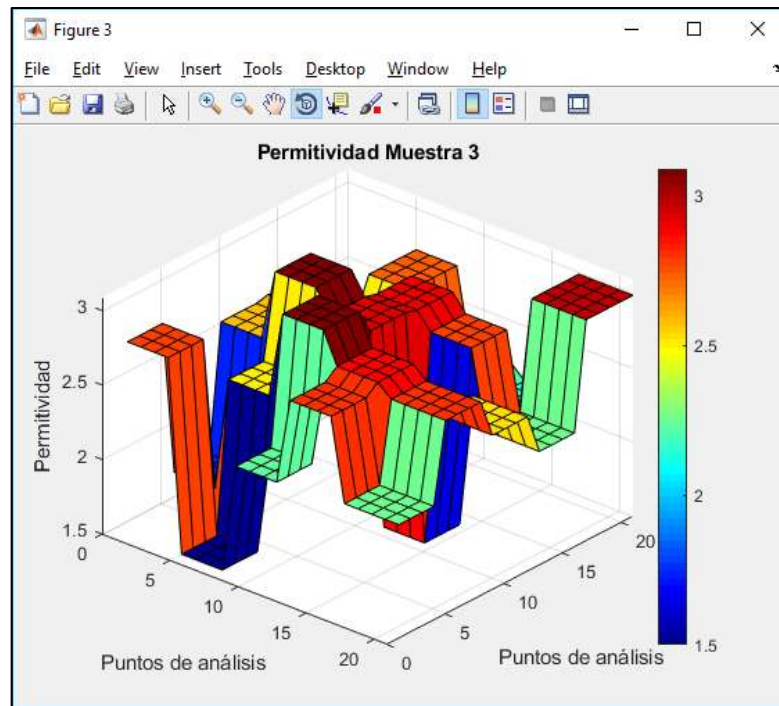


Gráfico 25-3: Permitividad Muestras 3 forma 3D

Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 26-3, de la muestra 3 correspondiente al terreno 2, podemos observar como la última toma de muestras a los mismos 25 puntos varían según su valor de permitividad con su color respectivo como lo muestra la barra de colores siendo un valor menor a 1.5 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 3, colocados de forma ascendente y ordenada.

El barrido realizado de forma manual, presenta los resultados anteriormente expuestos, los cuales fueron tomados en un lapso de tiempo total de 2 horas 40 minutos, el día 4 de Enero de 2020 en el terreno de la Facultad de Ciencias Pecuarias, el proceso de barrido inicio a las 15 horas 38 minutos y finalizando el tercer barrido a las 18 horas 18 minutos, sin embargo se puede realizar estudios en diversas estaciones climáticas del año, como también a diferentes horas del día, tomando en consideración los cambios externos (cambios naturales) que puede recibir el terreno, lo cual afectará los resultados con una leve variación en la permitividad, como ya fue mencionado con anterioridad por modificación en humedad, vegetación, entre otros.

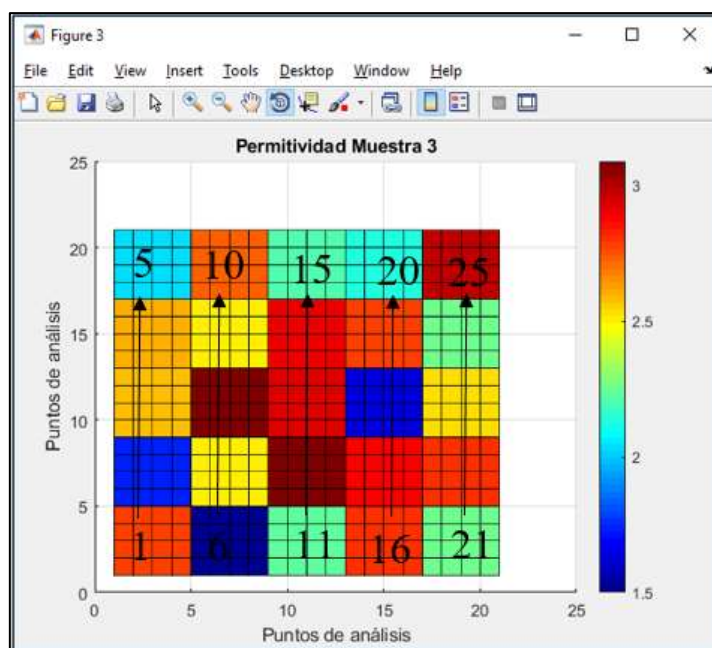


Gráfico 26-3: Permitividad Muestras 3 forma plano.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

A continuación, se presenta la toma de datos del barrido del mismo terreno 2 con la utilización del M600, donde también se realizaron 75 capturas de las señales para su procesamiento, y posterior caracterización, en el área definida de 100m², a través de tres muestras, con lo cual se obtuvieron los resultados de la tabla 9-3.

Tabla 9-3: Datos permitividad terreno 2 con M600.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Punto 1	2,1248	2,1239	2,1239	2,1242
Punto 2	2,1237	2,0046	2,1239	2,0841
Punto 3	2,1370	2,1221	2,0895	2,1162
Punto 4	2,8157	2,8157	2,8157	2,8157
Punto 5	2,1183	2,1188	2,0923	2,1098
Punto 6	2,1183	2,2694	2,4205	2,2694
Punto 7	3,1025	3,1051	3,1076	3,1051
Punto 8	2,7228	2,6804	2,4766	2,6266
Punto 9	3,0592	3,0604	3,0580	3,0592
Punto 10	2,1237	2,0466	2,1239	2,0981
Punto 11	2,0702	2,2898	2,1784	2,1795
Punto 12	2,0850	2,0466	2,1239	2,0852

Continuación de la tabla 9-3 Datos permitividad terreno 2 con M600.

Punto 13	2,1239	2,1237	2,1248	2,1241
Punto 14	2,1248	2,0307	2,0774	2,0776
Punto 15	2,1751	2,2093	2,1894	2,1913
Punto 16	2,3471	2,3471	2,1248	2,2730
Punto 17	2,1237	2,1046	2,1237	2,1173
Punto 18	2,0144	2,0662	2,1188	2,0665
Punto 19	2,1418	2,1328	2,1237	2,1328
Punto 20	2,1188	2,0596	2,1012	2,0932
Punto 21	2,1239	2,1261	2,1250	2,1250
Punto 22	2,1602	2,1237	2,1239	2,1359
Punto 23	2,0786	2,0466	2,0587	2,0613
Punto 24	2,1107	2,1239	2,1151	2,1166
Punto 25	2,0919	2,0910	2,1188	2,1006
Promedio Total				2,2515

Realizado por: Espinoza Patricio, 2020.

Una vez realizado el procesamiento de los 25 puntos correspondientes al terreno 2, con el uso del Matrice 600 en los 100m² de suelo con sus respectivas muestras, los resultados obtenidos de la señal tienen datos interesantes al existir momentos donde se tuvo que detener el proceso de barrido debido a los vientos que se producían el momento del muestreo, originando una turbulencia que lo desequilibro peligrosamente. A su vez este barrido obtuvo seis datos mayores a 3 de permitividad, representando un 8% de resultados donde la vegetación era más frondosa, gráfico 27-3.

Para el gráfico 28-3 en 3D realizado con el barrido del M600, presenta niveles constantes de permitividad con pocos picos altos a comparación del resto, los cuales poseen una atenuación debido al uso de UAV.

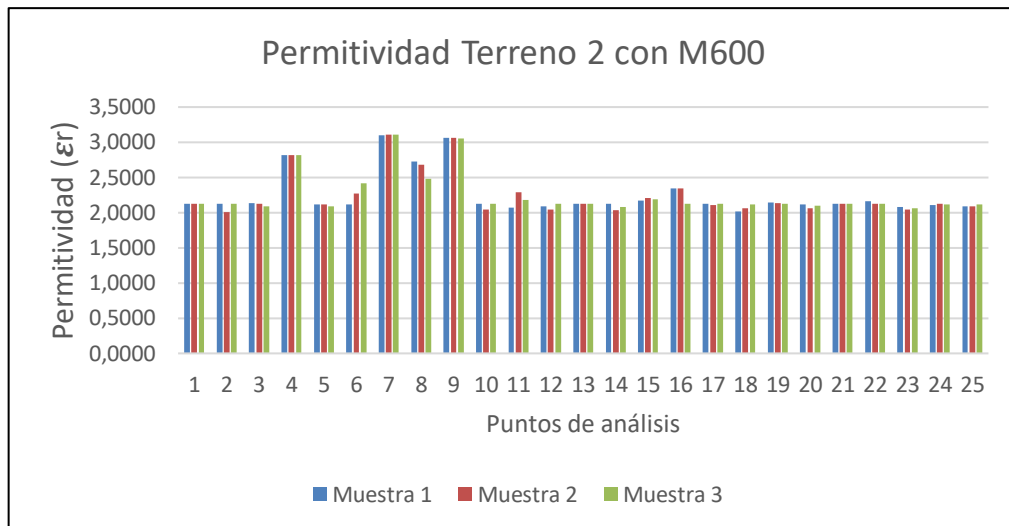


Gráfico 27-3: Permitividad Terreno 2 con M600.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

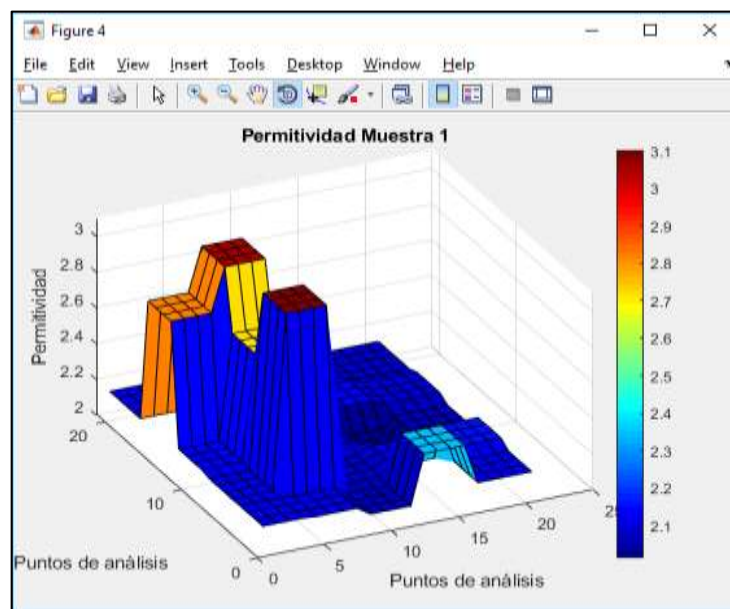


Gráfico 28-3: Permitividad Muestras 1 con M600 forma 3D.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 29-3 podemos observar como las primeras 25 muestras tomadas con el uso del M600 del terreno 2 varían según su valor de permitividad con su color respectivo como lo muestra la barra de colores siendo un valor menor a 2.1 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 3.1, donde el valor con más alta permitividad se sitúa en la muestra 9 con 3.1025 de permitividad relativa.

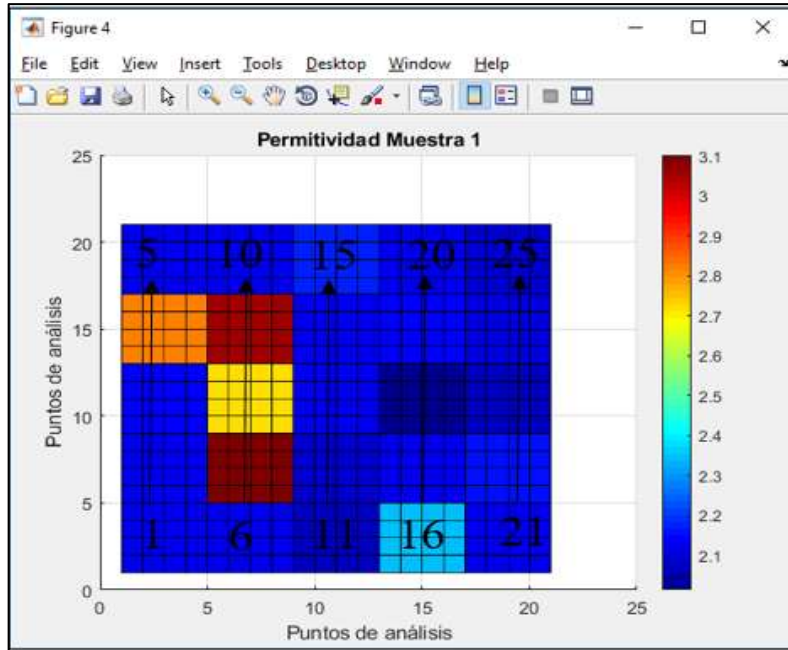


Gráfico 29-3: Permittividad Muestras 1 con M600 forma plano.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 30-3 en 3D, con el uso del M600, se tienen datos similares a los recolectados por la muestra 1 con pocos niveles altos en permitividad, mientras el mayor porcentaje se mantiene con valores bajos dentro del rango (2-3).

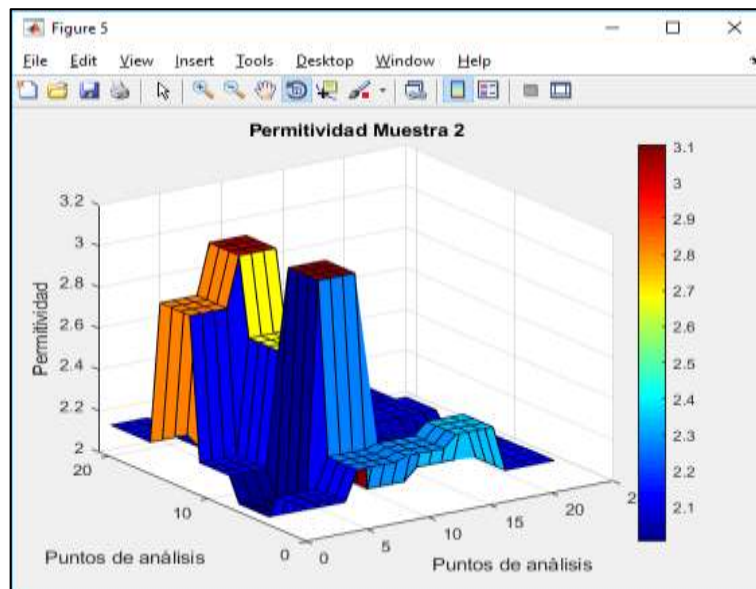


Gráfico 30-3: Permittividad Muestras 2 con M600 forma 3D.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 31-3 podemos observar como la segunda toma de muestras respectivas a los mismos 25 puntos dentro del área del terreno 2 barridos con el M600, varían según su valor de permitividad con su color respectivo como lo muestra la barra de colores siendo un valor menor a 2.1 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un

rojo para valores de 3.1, siendo de los 25 resultados de la muestra 7 el valor más alto de 3.1051, estos valores son mostrados de forma ascendente y ordenada.

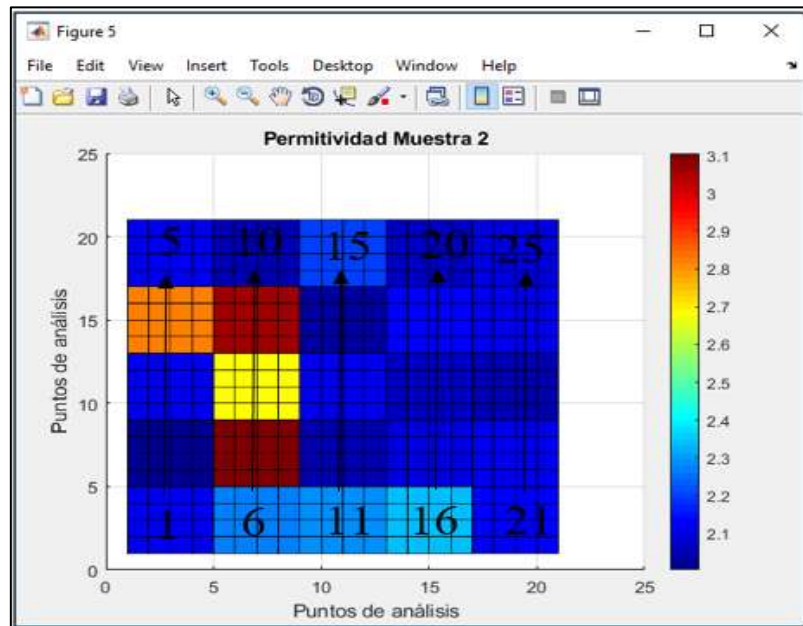


Gráfico 31-3: Permitividad Muestras 2 con M600 forma plano.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

Para finalizar con los datos obtenidos con el M600 del terreno 2, observamos como en el gráfico 32-3 en 3D, donde muestra datos similares a las muestras 1 y 2, con una leve variación en los niveles más altos, manteniendo los más bajos dentro del rango de permitividad.

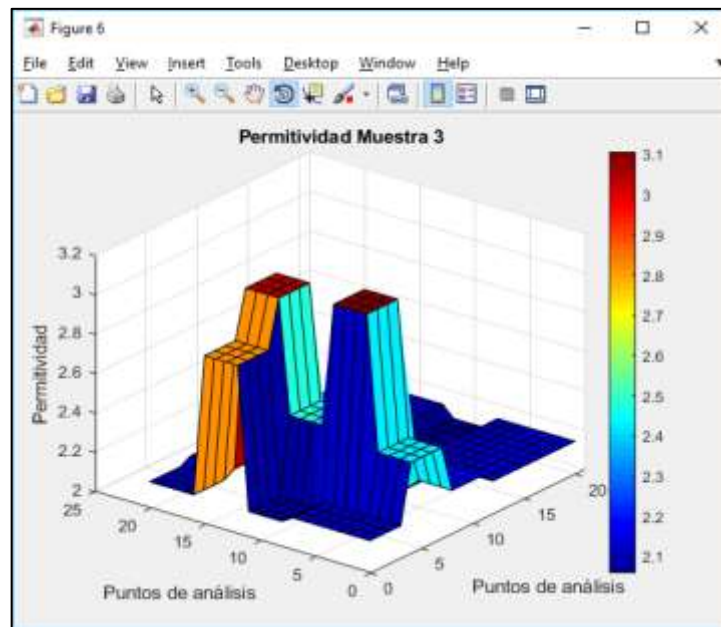


Gráfico 32-3: Permitividad Muestras 3 con M600 forma 3D.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 33-3, de la muestra correspondiente al terreno 2, podemos observar como los valores de cada muestra adquieren valores de la barra de colores, siendo un valor menor a 2.1 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores

de 3.1, colocados de forma ascendente y ordenada, siendo el valor más alto en permitividad de 3.1076 en el punto 7.

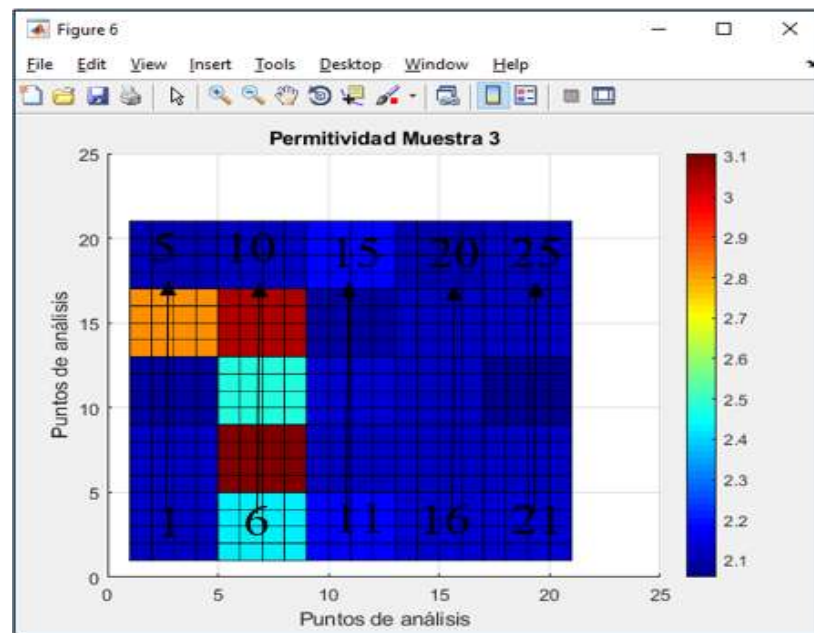


Gráfico 33-3: Permittividad Muestras 3 con M600 forma plano.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

El barrido realizado con el M600, presenta los resultados anteriormente expuestos, los cuales fueron tomados en un lapso de tiempo total de 3 horas 38 minutos, el día 8 de Enero de 2020 en el terreno de la Facultad de Ciencias Pecuarias, el proceso de barrido inicio a las 10 horas 22 minutos y finalizando el tercer barrido a las 14 horas 00 minutos, el barrido tuvo que ser detenido como ya se mencionó anteriormente debido a dificultades externas del clima, con una espera total de 28 minutos, y 32 minutos, tanto el segundo barrido como en el tercero, pese a los inconvenientes, los resultados son válidos para este terreno en horas de la mañana, a la par de los previos realizados en horas de la tarde con el barrido manual dando así un resultado óptimo entre ambos análisis de datos en horarios diferentes, sin embargo se puede realizar estudios en diversas estaciones climáticas del año, tomando en consideración los cambios externos (cambios naturales) que puede recibir el terreno, lo cual afectará los resultados con una leve variación en la permitividad, como ya fue mencionado con anterioridad por modificación en humedad, vegetación, entre otros.

3.2.3. Datos del terreno de la Facultad de Recursos Naturales

Al igual que las pruebas anteriores a los dos terrenos de estudio, con el tercero también se realizaron 75 capturas de las señales para su procesamiento, con un barrido manual y un segundo

barrido con el M600 para la correcta caracterización del suelo, en el área definida de 100m², como se lo define en tabla 3-1, con lo cual se obtuvieron los resultados planteados en la tabla 10-3.

Tabla 10-3: Datos permitividad Terreno 3.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Punto 1	3,2861	3,2105	3,2909	3,2625
Punto 2	3,7842	3,6802	3,9118	3,7921
Punto 3	3,8571	3,8017	3,7186	3,7925
Punto 4	2,4608	2,9830	2,9128	2,4316
Punto 5	2,4608	2,5165	2,3176	2,4316
Punto 6	1,5205	1,4793	1,6940	1,5646
Punto 7	2,1590	2,3751	2,4859	2,3400
Punto 8	2,7830	2,7671	2,8809	2,8103
Punto 9	2,6744	2,6558	2,5167	2,6156
Punto 10	1,9113	2,1457	2,1925	2,0832
Punto 11	2,5890	2,3675	2,4782	2,4782
Punto 12	2,0549	2,4682	2,4331	2,3187
Punto 13	2,6823	2,1274	2,1905	2,3334
Punto 14	2,2300	2,3951	2,0549	2,2267
Punto 15	2,0908	2,1928	2,0898	2,1245
Punto 16	2,6825	2,6558	2,8153	2,7179
Punto 17	2,8739	2,9810	2,9070	2,9206
Punto 18	2,1363	1,9384	2,0373	2,0373
Punto 19	2,8681	2,8109	2,1925	2,6238
Punto 20	2,9778	2,8953	2,9365	2,9365
Punto 21	2,1905	2,0908	2,0559	2,1124
Punto 22	2,1905	2,2703	2,2304	2,2304
Punto 23	2,4269	2,1584	2,5892	2,3915
Punto 24	2,4269	2,3282	2,0608	2,2720
Punto 25	2,9830	2,8953	2,8015	2,8933
Promedio Total				2,5703

Realizado por: Espinoza, Patricio, 2020.

Una vez realizado el procesamiento de los 25 puntos correspondientes al terreno 3, en los 100m² de terreno con sus respectivas muestras, los resultados en este terreno así como los analizados previamente concuerdan con la investigación al obtener un total de 81.33% de las muestras se encuentran en el rango de permitividad relativa (constante dieléctrica) del suelo del suelo arcilloso

el cual va entre 2-3; el 12% sobrepasan el rango de permitividad mayor a 3, mostrado en el gráfico 34-3, esto se debe a que las primeras mediciones se las realizo posterior a una lluvia intensa presentada el día anterior en horas de la noche; mientras se recolectaba las muestras la lluvia regreso, deteniendo el proceso de muestreo, para reanudar la toma de datos del suelo el mismo debía regresar a tener sus características naturales; para lo cual se tomó un lapso de tiempo adecuado, estos primeros datos muestran que el aumento en la humedad afecta el suelo y su rango de permitividad, posterior a que el suelo retomo su humedad normal, se obtuvo que el 6.67% final tiene un rango menor a 2 de permitividad.

Para el gráfico 35-3 en 3D, el cual presenta las muestras con niveles más altos debido a la humedad que retenía el terreno posterior a la lluvia, contra los datos cuando el suelo regreso a sus características normales.

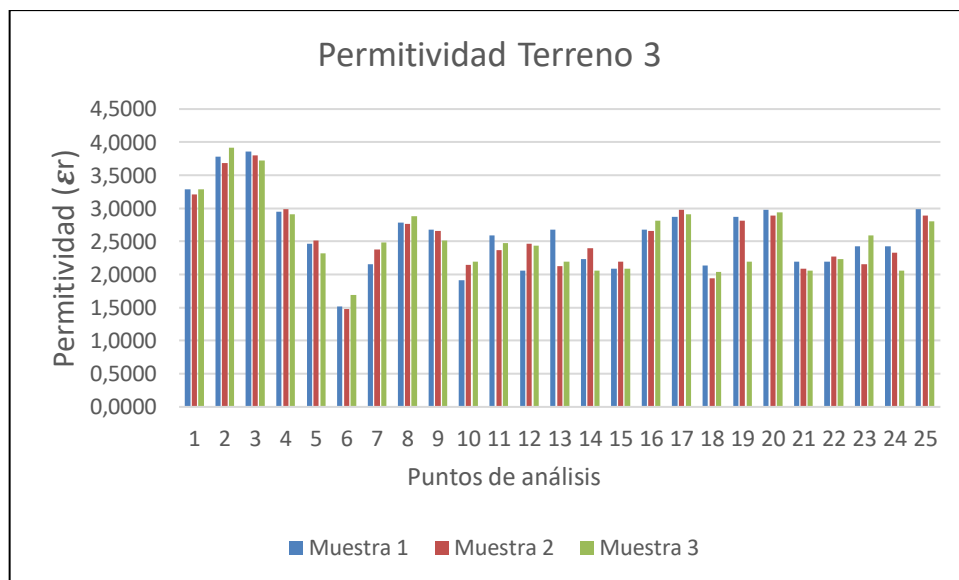


Gráfico 34-3 Permitividad Muestra 3

Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

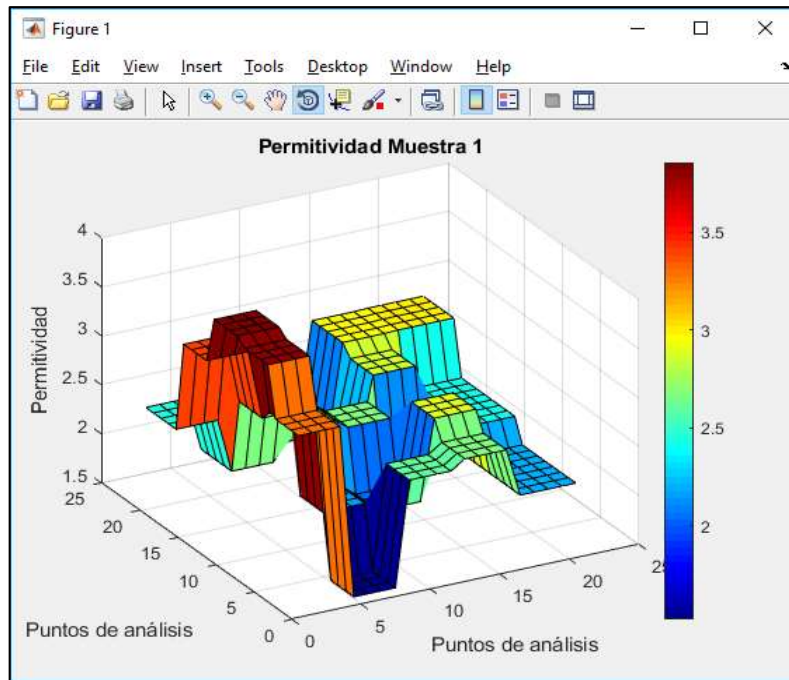


Gráfico 35-3: Permitividad Muestras 1 forma 3D.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 36-3 podemos observar como las 25 primeras muestras respectivas a los 25 puntos dentro del área del terreno 3, varían según su valor de permitividad con su color respectivo como lo muestra la barra de colores siendo un valor menor a 2 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 3.5, colocados de forma ascendente y ordenada.

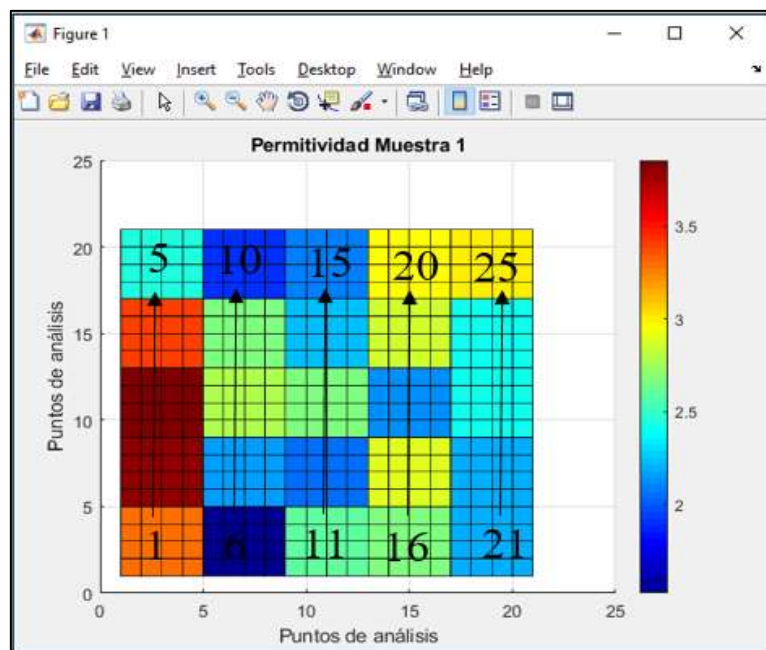


Gráfico 36-3: Permitividad Muestras 1 forma plano.
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 37-3 en 3D, mantiene los valores altos de permitividad en los puntos donde la humedad era más elevada debido a la lluvia.

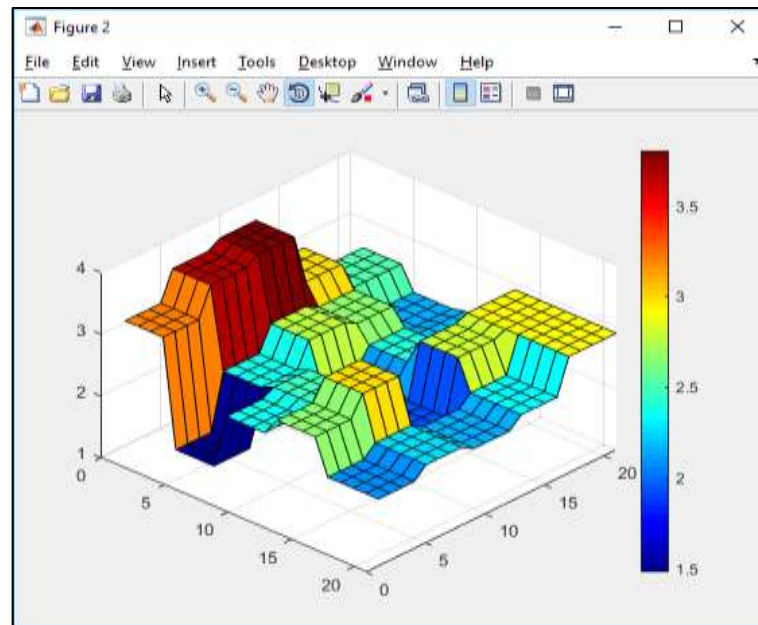


Gráfico 37-3: Permittivity Muestras 2 forma 3D
 Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 38-3 podemos observar como la segunda toma de muestras respectivas a los mismos 25 puntos dentro del área del terreno 3, varían según su valor de permitividad con su color respectivo como lo muestra la barra de colores siendo un valor menor a 1.5 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 3.5, colocados de forma ascendente y ordenada.

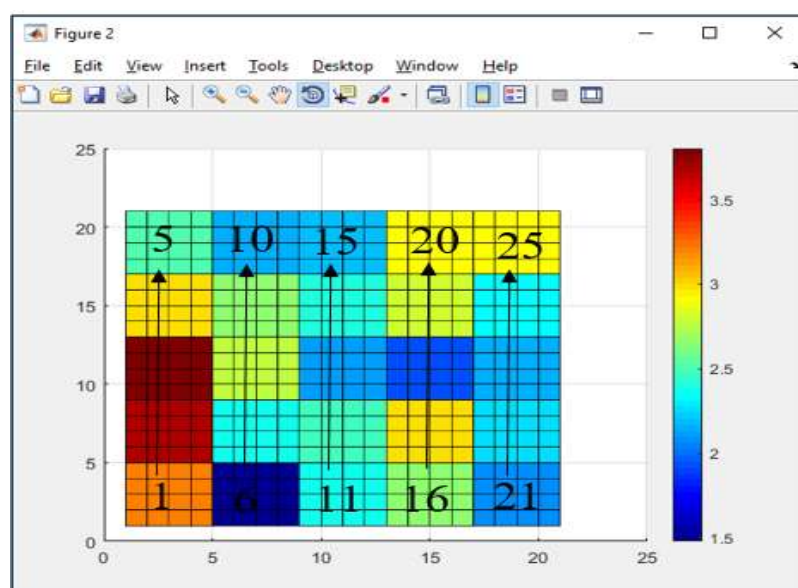


Gráfico 38-3: Permittivity Muestras 2 forma plano
 Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

Para finalizar con el barrido manual del terreno 3, observamos en el gráfico 39-3 en 3D, la permitividad por cada punto y como los primeros mantienen un nivel mayor a comparación del resto de puntos de análisis.

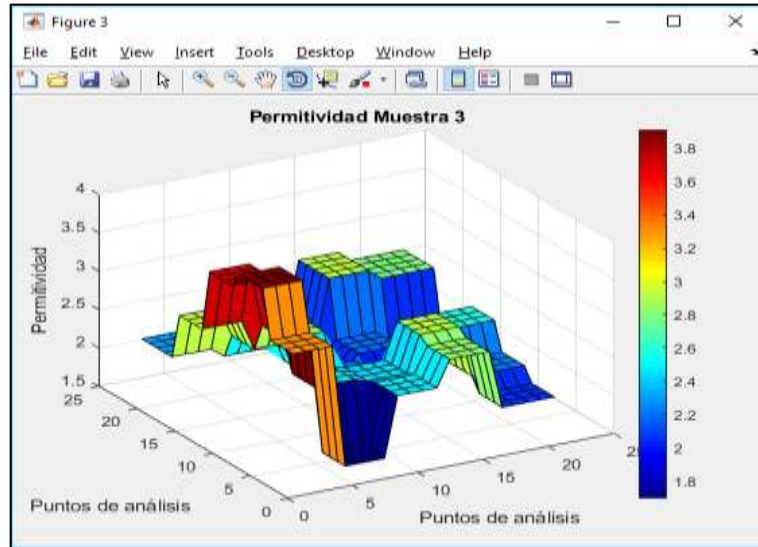


Gráfico 39-3: Permitividad Muestras 3 forma 3D
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 40-3, de la muestra correspondiente, se presenta como la última toma de muestras respectivas a los mismos 25 puntos, varían según su valor de permitividad con su color respectivo, siendo un valor menor a 1.8 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 3.8, recordando que las primeras muestras fueron tomadas posterior a una lluvia que se manifestó en el área aumentando así el valor a obtener como resultado.

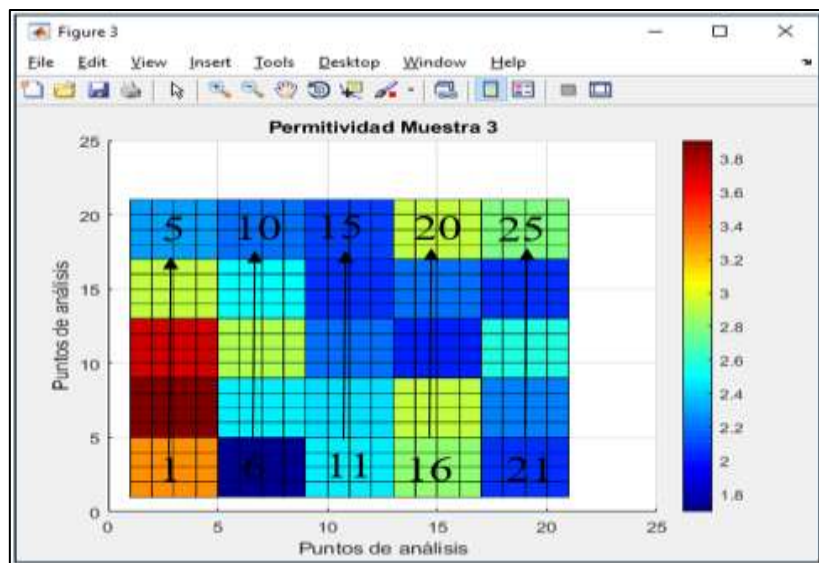


Gráfico 40-3: Permitividad Muestras 3 forma plano
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

El barrido realizado de forma manual, presenta los resultados anteriormente expuestos, los cuales fueron tomados en un lapso de tiempo total de 6 horas 44 minutos , el día 2 de Enero de 2020 en el terreno de la Facultad Recursos Naturales, el proceso de barrido inicio a las 09 horas 30 minutos y finalizando el tercer barrido a las 16 horas 14 minutos, a lo cual se puede determinar que estos resultados son válidos para este terreno en horas de la mañana y tarde, el análisis del terreno presentado tuvo que ser detenido por un periodo de 2horas aproximadamente como se mencionó anteriormente debido a la lluvia, esperando el terreno vuelca a tener sus características normales, se retomó el proceso de barrido del terreno a las 12horas 00 minutos aproximadamente; sin embargo se puede realizar estudios en diversas estaciones climáticas del año, tomando en consideración los cambios externos (cambios naturales) que puede recibir el terreno, lo cual afectará los resultados con una leve variación en la permitividad, como ya fue mencionado con anterioridad por modificación en humedad, vegetación, entre otros.

Al analizar los tres terrenos en el trabajo de titulación, finalizamos con el análisis del barrido del terreno 3 con ayuda del M600, donde también se realizaron 75 capturas de las señales para su procesamiento y caracterización, en el área definida de 100m² en el mismo terreno 3 en el cual ya se realizó el barrido de forma manual, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 11-3.

Tabla 11-3: Datos permitividad Terreno 3 con M600

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Punto 1	2,1088	2,0910	2,0920	2,0973
Punto 2	2,1151	2,1239	2,1107	2,1166
Punto 3	2,1046	2,1237	2,1239	2,1174
Punto 4	2,1239	2,1248	2,1112	2,1200
Punto 5	2,1183	2,1188	2,1091	2,1154
Punto 6	2,1183	2,1261	2,1067	2,1170
Punto 7	2,1186	2,1072	2,0946	2,1068
Punto 8	2,0737	2,0764	2,0790	2,0764
Punto 9	2,0654	2,0480	2,0580	2,0571
Punto 10	2,1237	2,1045	2,1141	2,1141
Punto 11	2,0245	2,0306	2,0248	2,0266
Punto 12	2,0456	2,0389	2,0407	2,0417
Punto 13	2,0650	2,0598	2,0635	2,0628
Punto 14	2,0276	2,0281	2,0311	2,0289

Continuación de la tabla 11-3 Datos permitividad Terreno 3 con M600

Punto 15	2,0390	2,0499	2,0378	2,0422
Punto 16	2,1369	2,1239	2,1261	2,1290
Punto 17	2,0610	2,0573	2,0439	2,0541
Punto 18	2,0776	2,0704	2,0675	2,0718
Punto 19	2,0560	2,0471	2,0544	2,0525
Punto 20	2,0189	2,0202	2,0406	2,0266
Punto 21	2,1172	2,1261	2,1082	2,1172
Punto 22	2,1186	2,1239	2,1091	2,1172
Punto 23	2,1091	2,1261	2,1239	2,1197
Punto 24	2,1091	2,1237	2,1239	2,1189
Punto 25	2,1239	2,1248	2,1188	2,1225
Promedio Total				2,0868

Realizado por: Espinoza Patricio, 2020.

Una vez realizado el procesamiento de los 25 puntos correspondientes a las muestras del terreno 3, con el uso del M600 en los 100m² de terreno, los resultados obtenidos al igual que en los terrenos anteriores. Con relación al terreno 1 y al terreno 2, en esta toma de muestras existió un ventarrón que desestabilizo al UAV, pero capto datos muy aleatorios y erróneos, donde la permitividad era muy baja con valores alrededor de 1,00005 como dato mayor, provocando que se deba reiniciar la toma de datos, para ello se procedió a la espera del cambio de clima y seguir con las mediciones normales para evitar estos errores producidos por dichos movimientos, gráfico 41-3.

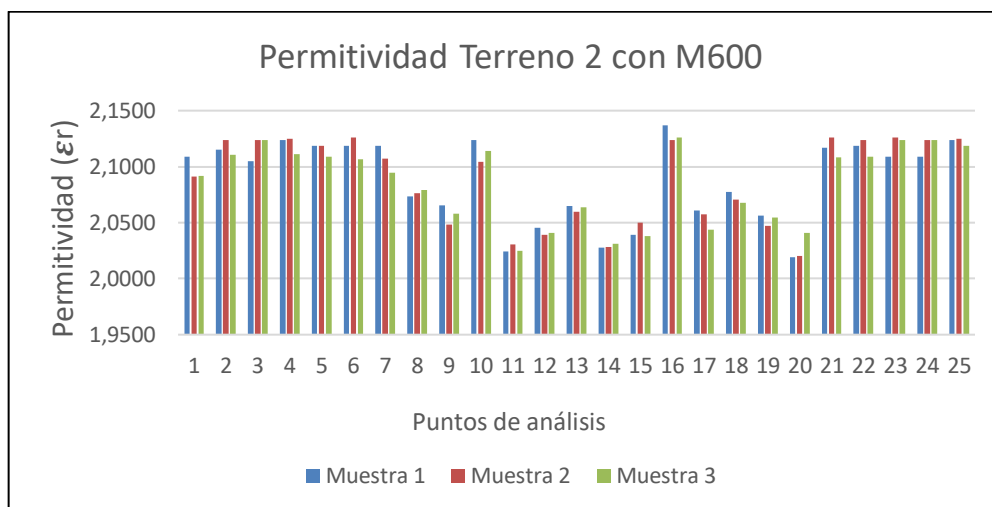


Gráfico 41-3: Permitividad Terreno 2 con M600

Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

Para el gráfico 42-3 en 3D realizado con el barrido del M600, presenta valores variables en los niveles debido a ser un terreno donde se producían vientos que desestabilizaban el UAV, al producir estos errores, se procedía a tomar nuevos datos una vez pasaba el problema del clima, obteniendo así ya valores coherentes para su análisis.

En el gráfico 43-3 podemos observar como las primeras 25 muestras tomadas con el uso del M600 del terreno 3, varían según su valor de permitividad reflejados en la barra de colores, siendo un valor menor a 2.02 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 2.12, donde el valor con más alta permitividad se sitúa en el punto 16 con 2.1369 de permitividad relativa.

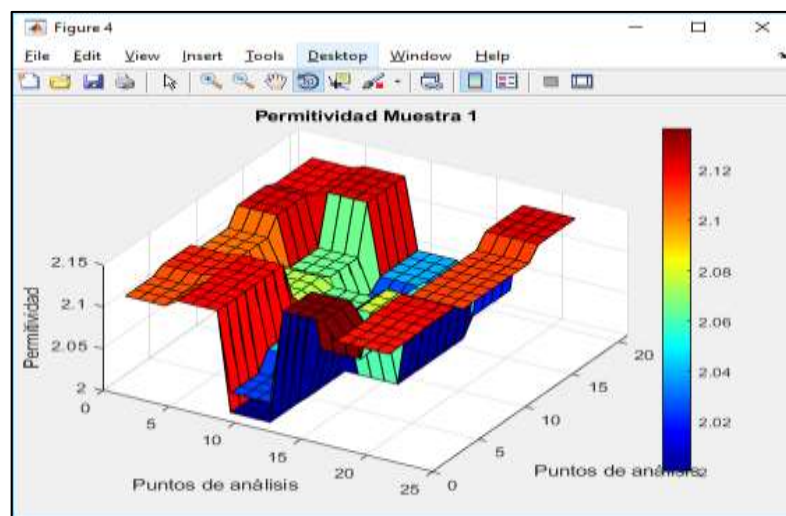


Gráfico 42-3: Muestras 1 con M600 forma 3D
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

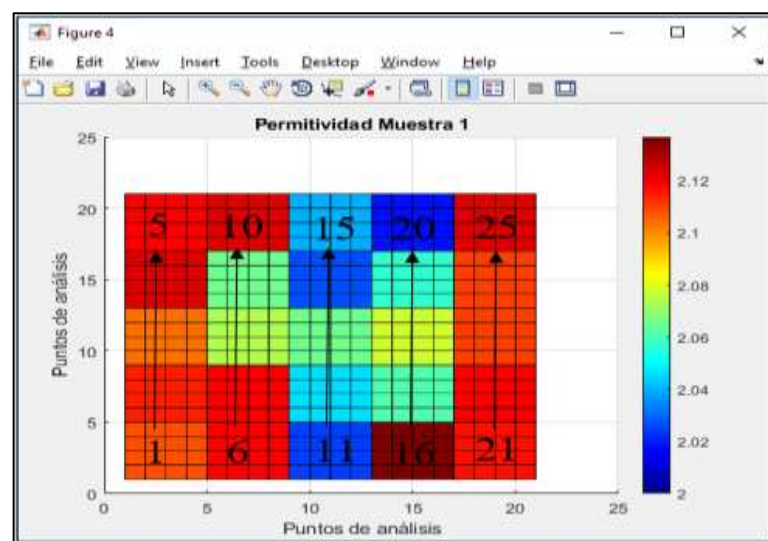


Gráfico 43-3: Permitividad Muestras 1 con M600 forma plano
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 44-3 en 3D, con el uso del M600, se presenta valores similares a la muestra 1 con los respectivos niveles variando de punto a punto.

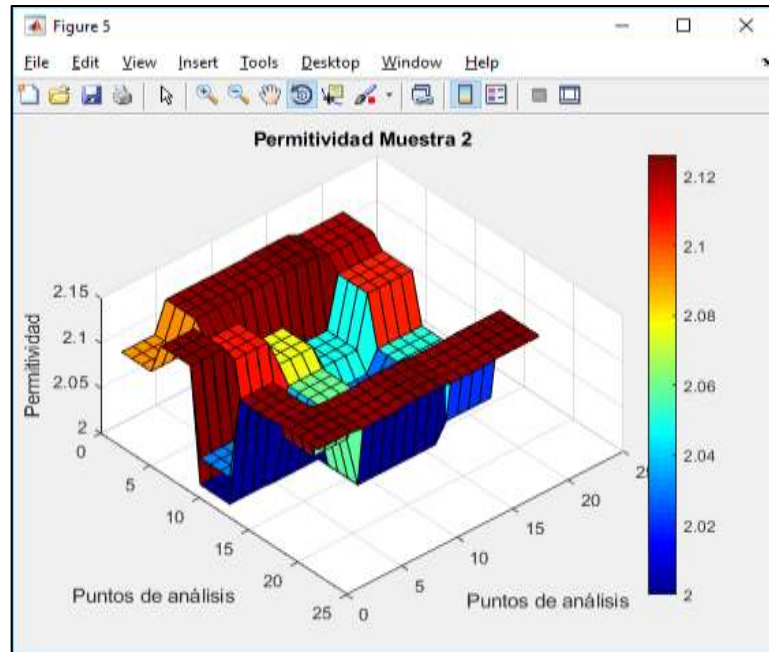


Gráfico 44-3: Muestras 2 con M600 forma 3D
 Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 45-3 podemos observar como la segunda toma de muestras respectivas a los mismos 25 puntos dentro del área del terreno 3 barridos con el M600, varían según su valor de permitividad, obteniendo un valor menor a 2 un color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 2.12, teniendo de resultados de la muestra 2 el valor más alto de 2.1261, ubicado en el punto 23.

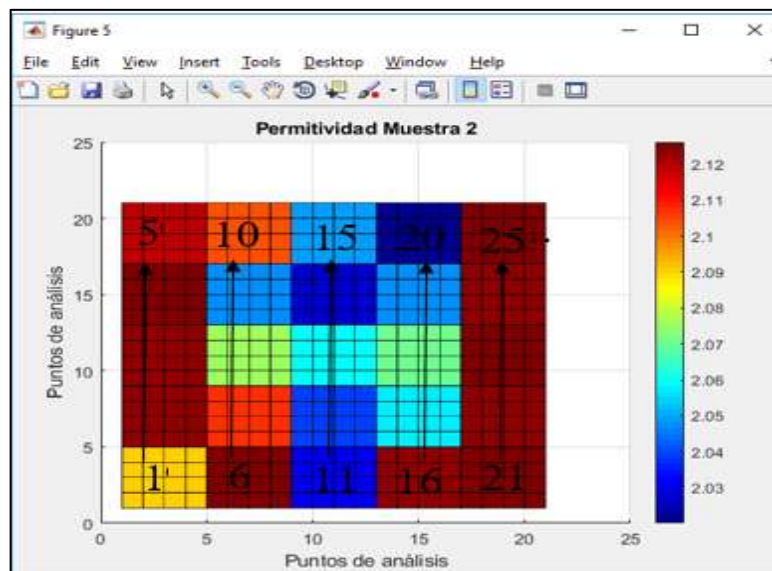


Gráfico 45-3: Permitividad Muestras 2 con M600 forma plano
 Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

Para finalizar con los datos obtenidos con uso del M600 del terreno 3, observamos como en el gráfico 46-3 en 3D, que la permitividad obtenida mantiene valores dentro del rango del suelo, pese a variar los niveles donde se ubican cada uno.

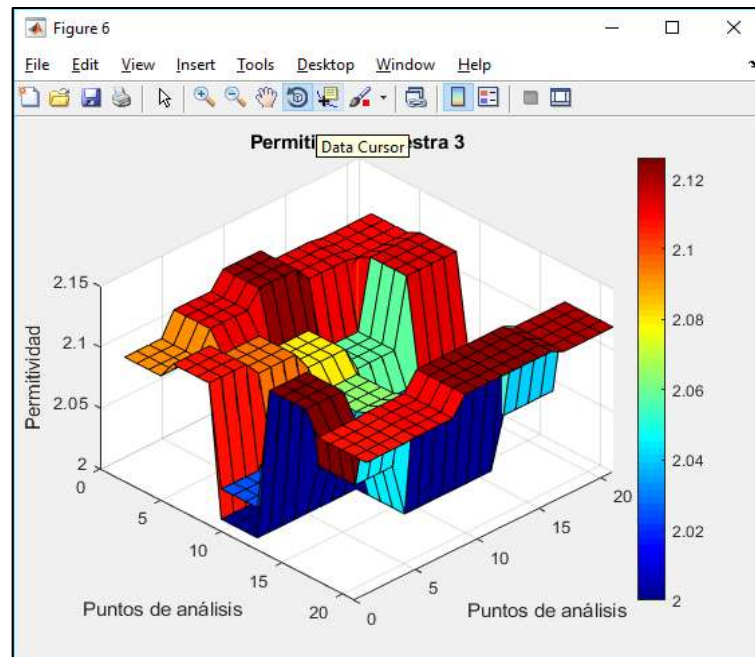


Gráfico 46-3: Muestras 3 con M600 forma 3D
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

En el gráfico 47-3, de la muestra correspondiente al terreno 3, podemos observar como la última toma de muestras respectivas a los mismos 25 puntos, varían según su valor de permitividad, dando un valor menor a 2, el color azul más oscuro, a medida que el valor aumenta el color cambia hasta llegar a un rojo para valores de 2.12, con el valor más alto en permitividad de 2,1188.

El barrido realizado con el M600, presenta los resultados anteriormente expuestos, los cuales fueron tomados en un lapso de tiempo total de 2 horas 05 minutos, el día 7 de Enero de 2020 en el terreno de la Facultad de Recursos Naturales, el proceso de barrido inicio a las 15 horas 45 minutos y finalizando el tercer barrido a las 17 horas 50 minutos, a lo cual se puede determinar que estos resultados son válidos para este terreno en horas de la tarde, a la par de los previos de igual manera realizados en horas de la tarde con el barrido manual dando así un resultado óptimo entre ambos análisis de datos en horarios diferentes, cabe mencionar que esta recolección de muestras en los barridos también tuvo que ser detenida por un periodo de 15 minutos debido a las condiciones climáticas (viento), sin embargo se puede realizar estudios en diversas estaciones climáticas del año, tomando en consideración los cambios externos (cambios naturales) que puede recibir el terreno, lo cual afectará los resultados con una leve variación en la permitividad, como ya fue mencionado con anterioridad por modificación en humedad, vegetación, entre otros.

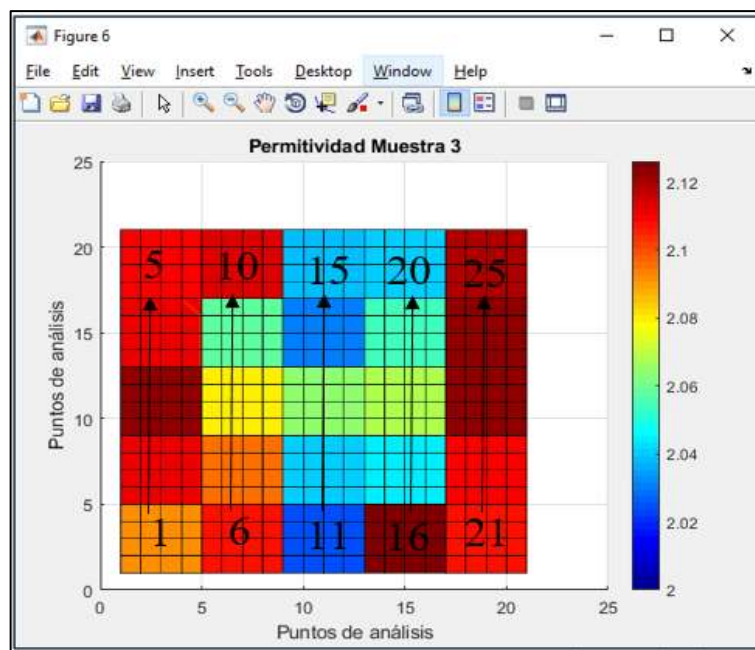


Gráfico 47-3: Permittividad Muestras 3 con M600 forma plano
Realizado por: Espinoza Patricio; 2020.

3.3. Comparación de resultados

Los resultados finales mostrados en esta sección son aquellos obtenidos por parte del análisis de laboratorio de las muestras, el barrido de forma manual de los terrenos y los datos obtenidos a través de la implementación con un dispositivo UAV (Matrice 600).

3.3.1. Resultado final Terreno 1

Tabla 12-3: Permittividad final Terreno 1

	ϵ_r
Análisis físico-químico	2-3
Barrido manual	2,5604
Barrido con UAV	2,2314

Realizado por: Espinoza Patricio, 2020.

La tabla 12-3, muestra el resultado final de ambos análisis realizados al terreno 1, a través de un análisis físico-químico y con un barrido del suelo, se caracteriza el terreno por la cual obtenemos que para un tipo de suelo **arenoso seco** de textura franco arenoso con un rango de permittividad de 2-3, se tiene una permittividad final promedio de ambos barridos de 2,3959.

Con este resultado se puede realizar una comparación y tener una base de la atenuación producida por la señal, en el terreno 1 con barrido manual se tiene una permittividad de 2.5604 de promedio;

mientras la permitividad con barrido del M600 es de 2.2314 de promedio, la cual representa una reducción del 12.8495% de pérdida de amplitud entre ambos barridos de suelos en el terreno 1, con un $\pm 0,329$ de variación.

3.3.2. Resultado final Terreno 2

Tabla 13-3: Permitividad final Terreno 2

	ϵ_r
Análisis físico-químico	2-3
Barrido manual	2,4917
Barrido con UAV	2,2515

Realizado por: Espinoza, Patricio, 2020.

El segundo resultado lo vemos en la tabla 13-3, la cual muestra el resultado final de ambos análisis realizados al terreno 2, con las pruebas físico-químicas y el barrido por toda el área seleccionada, por las cuales obtenemos para un tipo de **suelo arenoso seco** de textura franco arenoso arcilloso, con un rango de permitividad de 2-3, se obtiene un valor de permitividad de ambos barridos promedio de 2,3716.

Con los datos obtenidos se va se realiza una comparación de la atenuación producida en la señal, del terreno 2, con permitividad 2,4917 de promedio con un barrido manual, y una permitividad atenuada de 2,2515 de promedio con uso del UAV, el cual representa una reducción del 9.64% de pérdida de amplitud entre ambos barridos del suelo en el terreno, con un $\pm 0,2402$ de variación.

3.3.3. Resultado final muestra 3

Tabla 14-3: Permitividad final Terreno 3

	ϵ_r
Análisis físico-químico	2-3
Barrido manual	2,5761
Barrido con UAV	2,0868

Realizado por: Espinoza Patricio, 2020.

Para finalizar con los resultados en la tabla 14-3 muestra el resultado final de ambos análisis realizados al terreno 3, las cuales son las pruebas físico-químicas y el barrido por toda el área seleccionada, obteniendo un tipo de **suelo arenoso seco** de textura arenoso, con un rango de permitividad de 2-3, con la cual se obtiene un valor de permitividad de ambos barridos promedio de 2,33145.

Al igual que con los resultados anteriores, la comparación base de la atenuación en la señal, en el terreno 3 con valor de permitividad del barrido manual de 2,5761 de promedio, y un valor de permitividad con UAV de 2,0882, representando una reducción del 18.93948% de pérdida de amplitud entre ambos barridos, con un $\pm 0,4893$ de variación.

3.4. Resultados Estadísticos de los terrenos

Para el análisis de datos, se utilizó el software estadístico IBM SPSS Statistics (v.21).

3.4.1. Metodología estadística

Se realizó una prueba de normalidad para los datos de permitividad debido a ser un requisito fundamental, que los valores posean una distribución normal para realizar una prueba paramétrica, para el caso del trabajo de titulación se utilizó una prueba t student, para muestras relacionadas a su vez requiere poseer independencia en la toma de datos

Para todas las pruebas realizadas se seleccionó un porcentaje del intervalo de confianza de 95%, es decir, posee a su vez un nivel de significancia de 5%.

3.4.1.1. Distribución Normal

Para los resultados de una distribución normal se planteó dos hipótesis para la comparación de métodos para la caracterización de suelos, barrido de forma manual vs barrido con UAV

- H_0 : Las lecturas de permitividad medidas con ambos métodos para caracterizar suelos muestran una distribución normal.
- H_1 : Las lecturas de permitividad medidas con ambos métodos para caracterizar suelos no muestran una distribución normal.

Para el análisis en la distribución normal, todas las probabilidades muestran que todos los datos obtenidos presentan un valor mayor al nivel de significancia, por esta razón se acepta la hipótesis nula.

3.4.1.2. Independencia en la toma de datos

Todos los datos obtenidos de permitividad por uno de los dos métodos en cualquiera de los terrenos de estudio fueron captados de forma independiente entre cada uno, cumpliendo así el tercer requisito para una prueba ANOVA

3.4.2. Prueba de terreno 1

Con los datos de permitividad obtenidos en el terreno 1 (Facultad de Informática y Electrónica), tanto con uso de UAV como de forma manual, se realizó la prueba estadística utilizando el software IBM SPSS v21. Para el análisis de datos se utilizó la prueba t students para muestras emparejadas, para lo cual se utilizó un nivel de significancia del 5%.

La hipótesis nula y la hipótesis alternativa se lo definió, como:

- H_0 : Las lecturas de permitividad medidas con UAV-M600 son iguales a las medidas obtenidas con barrido manual.
- H_1 : Las lecturas de permitividad medidas con UAV-M600 son diferentes a las medidas obtenidas con barrido manual.

Al comparar los datos de permitividad obtenidos, tanto con el uso de UAV como de forma manual, en el primer barrido, los resultados arrojados se muestran en la tabla

Tabla 15-3: Prueba t student barrido manual vs UAV, terreno 1

	Probabilidad
Muestra 1 manual vs UAV-M600	0.391
Muestra 2 manual vs UAV-M600	0.481
Muestra 3 manual vs UAV-M600	0.340
Promedio de muestras manual vs UAV-M600	0.793

Realizado por: Espinoza Patricio, 2020

En base a la tabla 15-3, dado que las probabilidades obtenidas son mayores al nivel de significancia se concluye que las lecturas de permitividad medidas con UAV-M600 son iguales a las medidas obtenidas con barrido manual.

3.4.3. Prueba de terreno 2

Con los datos de permitividad obtenidos en el terreno 2 (Facultad de Ciencias Pecuarias), tanto con uso de UAV como de forma manual, se realizó la prueba estadística utilizando el software IBM SPSS v21. Para el análisis de datos se utilizó la prueba t students para muestras emparejadas, para lo cual se utilizó un nivel de significancia del 5%.

La hipótesis nula y la hipótesis alternativa se lo definió, como:

- H_0 : Las lecturas de permitividad medidas con UAV-M600 son iguales a las medidas obtenidas con barrido manual.
- H_1 : Las lecturas de permitividad medidas con UAV-M600 son diferentes a las medidas obtenidas con barrido manual.

Al comparar los datos de permitividad obtenidos, tanto con el uso de UAV como de forma manual, en el primer barrido, los resultados arrojados se muestran en la tabla

Tabla 16-3: Prueba t student barrido manual vs UAV, terreno 2

	Probabilidad
Muestra 1 manual vs UAV-M600	0.591
Muestra 2 manual vs UAV-M600	0.226
Muestra 3 manual vs UAV-M600	0.329
Promedio de muestras manual vs UAV-M600	0.290

Realizado por: Espinoza Patricio, 2020

En base a la tabla 16-3, de igual manera que con el terreno 1, dado que las probabilidades obtenidas son mayores al nivel de significancia se concluye que las lecturas de permitividad medidas con UAV-M600 en el terreno 2 de la Facultad de Ciencias Pecuarias son iguales a las medidas obtenidas con barrido manual.

3.4.4. Prueba de terreno 3

Finalmente, con los datos de permitividad obtenidos en el terreno 3 (Facultad de Recursos Naturales), tanto con uso de UAV como de forma manual, se realizó la prueba estadística utilizando el software IBM SPSS v21. Para el análisis de datos se utilizó la prueba t students para muestras emparejadas, para lo cual se utilizó un nivel de significancia del 5%.

La hipótesis nula y la hipótesis alternativa se lo definió, como:

- H_0 : Las lecturas de permitividad medidas con UAV-M600 son iguales a las medidas obtenidas con barrido manual.
- H_1 : Las lecturas de permitividad medidas con UAV-M600 son diferentes a las medidas obtenidas con barrido manual.

Al comparar los datos de permitividad obtenidos, tanto con el uso de UAV como de forma manual, en el primer barrido, los resultados arrojados se muestran en la tabla

Tabla 17-3: Prueba t student barrido manual vs UAV, terreno 3

	Probabilidad
Muestra 1 manual vs UAV-M600	0.589
Muestra 2 manual vs UAV-M600	0.346
Muestra 3 manual vs UAV-M600	0.343
Promedio de muestras manual vs UAV-M600	0.200

Realizado por: Espinoza Patricio, 2020

En base a la tabla 17-3, de igual manera que con el terreno 1 y al terreno 2, dado que las probabilidades obtenidas son mayores al nivel de significancia se concluye que las lecturas de permitividad medidas con UAV-M600 en el terreno 2 de la Facultad de Ciencias Pecuarias son iguales a las medidas obtenidas con barrido manual.

CONCLUSIONES

- A través de la investigación teórica realizada en primera instancia se identificaron las principales características para el correcto uso de la tecnología SDRADAR, necesarios para realizar el trabajo de titulación, los cuales fueron utilizadas en la creación del diseño, con señales chirp (FMCW) por la factibilidad que poseen en el uso de un ancho de banda de hasta 40MHz, para el funcionamiento adecuado del prototipo.
- Se identificó los requerimientos necesarios para una caracterización tradicional y el proceso a realizar para los suelos de estudio, siendo las bases los análisis físico-químicos obteniendo características que componen el suelo como lo son datos de ph, densidad aparente, %humedad, conductividad, color, textura y estructura, las cuales diferencian los resultados de las muestras una con relación a otra.
- La tecnología seleccionada en hardware en este trabajo de titulación fue la tarjeta USRP-2932 por su mayor ancho de banda de trabajo con rangos desde los 400MHz hasta los 4.4GHz, así como su procesamiento full-dúplex y capacidad de procesamiento; y uso de un UAV-600 en el barrido y movilización sobre el terreno de estudio para facilidad en la adquisición de datos, mientras que en software es utilizado LabVIEW como principal programa debido a que solo este es capaz de tener una comunicación con la tarjeta USRP-2932, a través de conexión Gigabit, y el software Matlab el cual fue usado para realizar el procesamiento de todas las muestras, por su facilidad en programación y obtención de resultados.
- Se definió parámetros en el diseño e implementación del prototipo para la caracterización de suelos, en la generación de la señal chirp (FMCW) a través de LabVIEW, para el envío, recepción y almacenamiento de las muestras, con sus entradas de frecuencia de corte, frecuencias de generación chirp, muestras e I/Q, con el posterior procesamiento en Matlab, obteniendo así el valor del coeficiente de reflexión producido por la interacción de las señales junto con la calibración realizada, dicho valor permitió calcular la constante dieléctrica de la muestra la cual es identificada y se obtiene así la estructura base, caracterizando cada uno de los suelos en los terrenos de la Facultad de Informática y Electrónica, la Facultad de Ciencias Pecuarias y la Facultad de Recursos Naturales.
- Se demostró que la implementación del prototipo cumple las bases de la investigación la cual es realizar un método no invasivo en el terreno de estudio, al usar equipos y

dispositivos para el diseño de la señal chirp (FMCW) con la tarjeta USRP-2932, al realizar el barrido manual y con el uso de UAV, el suelo no es artífice de una modificación o alteración, para determinar características que lo identifican uno en relación a otro, dentro de los predios de la ESPOCH lo cual se puede comparar con un análisis común, es decir, un análisis físico-químico, tradicional de la muestra el cual si requiere un trabajo sobre el lugar de estudio modificando la integridad del mismo.

- A través de la prueba estadística t student, los resultados fueron utilizados en una comparación de los métodos de barrido para caracterización de suelos, de los cuales se obtiene que, estadísticamente la permitividad resultante por los métodos de barrido con UAV-M600 y de forma manual son iguales para caracterizar los suelos.

RECOMENDACIONES

- En cuanto a los requerimientos de la tecnología SDRADAR se recomienda definir los parámetros esenciales como tiempos, frecuencias de operación, frecuencia inicial y final para la generación de la señal chirp, ancho de banda, ganancia, frecuencia portadora, valor de I/Q, entre otros, para tener un envío de señal adecuado y aprovechar al máximo el ancho que tiene este tipo de tecnología, la tarjeta USRP-2932, necesidades que varían de acuerdo al estudio.
- Para próximas investigaciones se debe asegurar obtener todos los equipos necesarios, con una previa investigación teórica de los estudios que pueden ser realizados a un suelo, el presente trabajo de titulación al mencionar un análisis físico-químicos fue requerido el uso de equipos para una caracterización normal de la muestra, la falta de un equipo específico para el análisis en mención, puede llegar a causar la ausencia de un dato el cual puede ser base en los resultados.
- Cuando se menciona el software base para realizar el diseño el ordenador debe tener características necesarias en memoria mayor a 16Gb recomendado, procesador Intel i8 o superior, tarjetas de video y gráficas Save on NVIDIA GeForce 1080, necesarias para el procesamiento que los datos requieren, para hardware al hablar de la tarjeta USRP-2932 requiere de una conexión eléctrica continua, lo que plantea para próximas investigaciones la forma de automatizar esta forma de alimentación para una caracterización de suelos con este equipo; el uso de un UAV es corto debido al elevado uso de las baterías lo que limita el tiempo de vuelo, por ende de la adquisición de datos.
- El procesamiento de las señales una vez realizado el envío y recepción de la señal en el software LabVIEW es complicado debido a la potencia del ordenador, sumando que no es posible generar una señal FMCW con frecuencias mayores a 4.4GHz, ya que excede el rango de trabajo de la tarjeta USRP-2932; el trabajar a frecuencias altas en el rango de los GHz conlleva un procesamiento mayor y con mayor pérdida en el uso de ancho de banda posible en un diseño de 40Mhz que soporta la tarjeta, para ello se recomienda el uso de frecuencias en el rango de los 0 MHz a 40MHz para generación de la señal chirp, rango que soporta la tarjeta, para obtener datos más óptimos antes de un procesamiento.
- Se recomienda continuar con investigaciones en diferentes tipos de muestras (suelos) fuera de los predios de la ESPOCH para obtener mayores y diferentes resultados, así

como realizar barridos para obtener datos en diversas horas del día (mañana, tarde y noche) ya que factores alternos pueden variar la superficie de un suelo en pocas horas, y dependiendo la estación del año, como lo visto en esta investigación debido a los suelos seleccionados los resultados son áridos en los tres casos de estudio; lo cual variara si se estudia otro tipo de suelo con diferentes características.

- Se recomienda utilizar el método de barrido manual para caracterizar suelos áridos y húmedos, por su facilidad de implementación en el prototipo, hasta optimizar el método de barrido para caracterizar suelos, con dispositivos UAV, debido a su necesidad de conexión eléctrica continua, poca duración de las baterías del M600 y conectividad de la tarjeta USRP-2932 a un ordenador para adquirir los datos.

BIBLIOGRAFÍA

AARONIA. *HyperLOG*. [En línea]. AARONIA AG, Alemania. 2019. pp. 1 [Consulta: 2019-05-06]. Disponible en: <https://www.aaronia.com/>

ÁLVARES, Javier & SHAGÑAY, Sandra. *Sistema radar para análisis y reconstrucción de perfiles topográficos a media escala*. [En línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2015. pp. 30-35 [Consulta: 2019-05-06]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4476>

ARSLAN, Hüseyin & CELEBI, Hasari et al. (2007) *Cognitive Radio, Software Defined Radio, and Adaptive Wireless Systems, Cognitive Radio, Software Defined Radio, and Adaptive Wireless Systems*. [En línea]. University of South Florida, Tampa – USA. 2007. pp. 105-25 [Consulta: 2019-11-06]. Disponible en: <http://read.pudn.com/downloads517/ebook/2147685/Cognitive%20Radio,%20Software%20Defined%20Radio,%20and%20Adaptive%20Wireless%20Systems.pdf>

AUQUILLA, Mayra. *Evaluación del contenido de carbono en las formaciones vegetales y en el suelo según su uso en tres agroecosistemas*. [En línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2016. pp. 20-40 [Consulta: 2019-12-02]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6579>

BELLVER, Elena. *Tipos de suelos y Características*. [En línea]. (Blog). Tendencias Media. 2019. pp. 9 [Consulta: 2019-11-26]. Disponible en: <https://tendencias.com/eco/tipos-de-suelos/>

BONÉ, Miguel. *Diseño y evaluación de un sistema de distribución uhf de televisión digital abierta mediante una repetidora y por un cable de Tx*. [En línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2018. pp 50-60 [Consulta: 2019-12-22]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8442>

CHARVART, Gregory. *Small and Short Range Radar Systems*. CRC Press Taylor & Francis Group. USA. 2014. pp. 69-89 [Consulta: 2019-04-13]

COLEGIO, 24hs. *Física de Ondas*. 2004. [En línea]. ProQuest Ebook Central. 2019. pp. 27 [Consulta: 2019-06-22]. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/esPOCHsp/detail.action?docID=3157428>.

COSTANZO, S. *Potentialities of usrp-based softwaredefined radar systems.* [En línea] (Paper). Progress In Electromagnetics Research B. 2013. pp. 5 [Consulta: 2019-06-03]. Disponible en: DOI 10.2528/PIERB13052904.

DJI. Matrice 600. [En línea]. 2020. [Consulta: 2020-01-02]. Disponible en: <https://www.dji.com/matrice600/info>

ELIKA. *Drones y su uso en la agricultura.* [En línea] (Artículo). Fundación Vasca para la seguridad Agroalimentaria, País Vasco. pp. 1-3 [Consulta: 2020-01-14]. Disponible en: <http://www.elika.net/datos/articulos/Archivo1388/Berezi%2035%20drones%20y%20sus%20usos%20en%20agricultura.pdf>

ETTUS RESEARCH. *About USRP Bandwidths and Sampling Rates - Ettus Knowledge Base* [En línea]. 2016 [Consulta: 2019-07-09]. Disponible en: https://kb.ettus.com/About_USRP_Bandwidths_and_Sampling_Rates.

GARCÍA, David & RIERA, José, 2012. *Implementación y configuración de un receptor de radio definido por software (SDR) para estudios de propagación.* [En línea] (Paper). Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones, E.T.S.I. de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid. pp. 1-20 [Consulta: 2019-05-14]. Disponible en: http://oa.upm.es/22874/1/INVE_MEM_2012_153627.pdf

GHM, Consultores. *Drones y Geología;* [En línea] (Blog). GHMC Consultores. 2014. pp. 88 [Consulta: 2019-07-07]. Disponible en: <http://www.ghmconsultores.es/2014/07/07/drones-y-geologia/>

GIUSIANO, Mónica. *Drones agrícolas en el manejo sitio-específico de malezas, análisis de beneficios económicos* [En línea] (Tesis Pregrado). Universidad Siglo 21. Córdoba – Argentina. 2017. pp 10-81. [Consulta: 2019-03-05] Disponible en: <https://repositorio.uesiglo21.edu.ar/bitstream/handle/ues21/14078/GIUSIANO%20MONICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GUOMIN, Zhou. *El uso de la tecnología de la información en la agricultura de las economías del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC) y más allá.* [En línea] (Artículo). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2016, pp. 1-2 [Consulta: 2020-01-02]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/b-i6817s.pdf>

LABVIEW. *What is Labview.* [En línea]. National Instruments. 2019. pp. 1 [Consulta: 2019-10-17]. Disponible en: <https://www.ni.com/en-us/shop/labview.html>

LOPEZ, Joan. *Tabla de radares.* [En línea] (Blog). Creative Commons Reconocimiento-SinObraDerivada 2015. pp. 25 [Consulta: 2019-04-02]. Disponible en: https://www.gigahertz.es/_tabla_de_radares.html

MEJIA, Julio. *Desarrollo de un algoritmo en matlab para la optimización de la resolución de una tarjeta usrp b210 para aplicaciones sdradar* [En línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2017. pp. 11-20 [Consulta: 2019-03-02]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7523>

MORENO, David. *Permittivity characterization of a dielectric material using radar technique.* (Tesis Postgrado). Università della Calabria, Italia. 2015. pp. 45-53 [Consulta: 2019-11-29]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822304001692>.

MERCHÁN, Christian. *Diseño e implementación de un sistema radar utilizando sistema sdr a través de tecnología usrp para aplicaciones topográficas* [En línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016.[Consulta: 2019-04-22]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6417/1/98T00121.pdf>

MATLAB. *El lenguaje del cálculo técnico.* Dans : *MATLAB* [En línea]. 2008 [Consulta: 2019-05-16]. Disponible en : <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>.

NATIONAL INSTRUMENTS. *Radio Definido por Software USRP - National Instruments* [En línea]. 2017 [Consulta: 2019-07-19]. Disponible en: <http://www.ni.com/es-cr/shop/select/usrp-software-defined-radio-device?modelId=125052>>.

PÉREZ, Vega. *Evaluación para aplicaciones en arqueología y patrimonio histórico-artístico.* [En línea] (Tesis doctoral). Departamento de Ingeniería de TERRENO, CARTOGRAFIA Y GEOFISICA, Universidad Politécnica de Cataluña. 2001. pp. 100-175 [Consulta: 2019-11-18]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/126e/1b119a36b850b428cf616ee5d89d5729767a.pdf>

PORTILLO, German. *Jardinería “Características y tipos de suelos”*. [En línea]. (Blog). Jardinería ON. 2018. pp. 31 [Consulta: 2019-08-15]. Disponible en: <https://www.jardineriaon.com/caracteristicas-tipos-suelos.html>

RICHARDS, Mark. *Fundamentals of Radar Signal Processing*. Georgia Institute of Technology. The McGraw-Hill Companies. USA. 2005. pp. 15-105. [Consulta: 2019-03-29]

ROSERO, Gabriela. *Evaluación de carbono orgánico del suelo en el ecosistema de páramo de la microcuenca del río Chimborazo en base a las actividades antrópica*. [En línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2019. pp. 30-40 [Consulta: 2019-08-16]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11124>

SERRANO, María. *Aplicación de algoritmo de optimización de resolución para la detección de objetivos en movimiento con tecnología sdradar*. [En línea] (Tesis Posgrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2019. pp. 27-36 [Consulta: 2019-07-11]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7523>.

TACURI, Jhony & OLMEDO, Wilson. *Implementación de un dron anticollisiones capaz de seguir una trayectoria pre establecida para la elaboración de un mapa de la tasa de ocupación vegetal en una zona*. [En línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2019. pp. 5-11 [Consulta: 2019-10-15]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10898>

TESTMART. *National Instruments Corporation 781911-01 NI USRP-2932, 400 MHz to 4.4 GHz + GPS Clock Software Radio Kit: Hardware, Driver and Toolkits* [En línea]. 2017 [Consulta: 2019-08-07]. Disponible en: <https://www.testmart.com/search/compare.cfm/TBD/NI/781911-01/8.html>.

TRUJILLO, Melinton. *Diseño e implementación de un dron autónomo para el monitoreo de una red wsn de sensores meteorológicos utilizando dispositivos xbee para transmisión de datos en la epoch*. [En línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2017. pp. 4-18 [Consulta: 2019-09-25]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6526>

VALDEZ, Walter. *Estudio de la agrobiodiversidad del área arqueológica del monte Puñay, en el cantón Chunchi provincia de Chimborazo* [En línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador. 2018. pp 9-10 [Consulta: 2019-11-15].
Disponible en: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/23T0682.pdf

VELOZ, Nancy. *Estudio de un sistema de medición de niveles de riesgo para zonas de desprendimientos a través de tecnología sdradar en un ambiente de laboratorio.* [En línea] (Tesis Posgrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2018. pp. 8-20 [Consulta: 2019-05-19]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8111>.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 20 / 02 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)	
Nombres – Apellidos: Patricio Andrés Espinoza Guevara	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: Informática y Electrónica	
Carrera: Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes	
Título a optar: Ingeniero en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes	
f. Analista de Biblioteca responsable:	