UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS

TEMA:
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN RADAR DE SUBSUELO PARA LA DETECCIÓN DE NUTRIENTES EN SUELOS ARCILLOSOS

AUTORES:
DANIEL DARIO POZO OÑA
CÉSAR ALEJANDRO OBANDO PROAÑO

TUTOR:
CARLOS AUGUSTO CUICHÁN MORALES

Quito, junio del 2016

Cesión de derechos de autor

Nosotros Daniel Dario Pozo Oña y César Alejandro Obando Proaño, con documento de identificación N° 1723402176 y 1004207922 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN RADAR DE SUBSUELO PARA LA DETECCIÓN DE NUTRIENTES EN SUELOS ARCILLOSOS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, junio del 2016

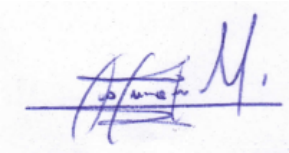
....
Daniel Dario Pozo Oña
1723402176

.....
César Alejandro Obando Proaño
1004207922

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación PROPUESTA DE DISEÑO DE UN RADAR DE SUBSUELO PARA LA DETECCIÓN DE NUTRIENTES EN SUELOS ARCILLOSOS realizado por Daniel Dario Pozo Oña y César Alejandro Obando Proaño, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, junio del 2016



Carlos Augusto Cuichán Morales
1714389721

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN RADAR DE SUBSUELO PARA LA DETECCIÓN DE NUTRIENTES EN SUELOS ARCILLOSOS

Carlos Cuichán[1], César Obando[2], Daniel Pozo[2]

Resumen

Existen algunos trabajos acerca del uso de ondas electromagnéticas en la agricultura, incluso para el análisis de la concentración de nutrientes en el suelo. Estos requieren de la validación de un dispositivo que pueda cumplir con dicha tarea, teniendo en cuenta las exigencias necesarias.

En este trabajo se propone el diseño de un radar de subsuelo con el objetivo de detectar tres nutrientes en suelos arcillosos, como son: nitrógeno, fósforo y potasio; permitiendo la transmisión y recepción de ondas de radiofrecuencia en el dominio del tiempo, a través de la validación técnica y económica de cada uno de los componentes que conforman un radar en base a simulaciones, investigaciones relacionadas al tema, hojas de fabricante y su disponibilidad en el mercado.

Como resultado se muestran los componentes apropiados para cada subsistema del radar (transmisor, antena, receptor y unidad de control), las gráficas de funcionamiento, el plano general del diseño final del radar.

Palabras Clave: detección, diseño, nutrientes, radar de subsuelo, validación.

Abstract

There are researches on the use of electromagnetic waves in agriculture, even for analysis of the nutrient's concentration in the soil. Those researches require the validation of a device that can fulfill the requirements for this task

This paper proposes the design of a ground penetrating radar in order to detect three nutrients in clay soils, such as: nitrogen, phosphorus and potassium; allowing the transmission and reception of radio waves in the time domain through the technical and economic validation of each one of the components that make up a radar based on simulations, researches related to the topic, manufacturer sheets and market availability.

As results presents the appropriate components for each subsystem of radar (transmitter, antenna, receiver, and control unit), graphs of operation, the general plane of the final design of the radar.

Keywords: detection, design, nutrients, ground penetrating radar, validation.

[1] Magister en Gestión de las Comunicaciones y Tecnologías de la Información, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Docente-UPS, Coordinador del Laboratorio de Telecomunicaciones – UPS – sede Quito. Autor para correspondencia: ccuichan@ups.edu.ec

[2] Egresado de Pre –grado en Ingeniería Electrónica (Mención Telecomunicaciones) – Universidad Politécnica Salesiana.

1. Introducción

Para determinar la inversión de fertilizantes o garantizar que los suelos con el tiempo puedan producir, especialmente en suelos arcillosos debido a que son los más utilizados para la agricultura en el Ecuador [1], se realiza un análisis de la concentración de nutrientes [2] por el método tradicional que requiere de un proceso invasivo no automatizado [3] en el cual se toman muestras del terreno para después examinarlas en un laboratorio, haciendo de este un método no inmediato y susceptible de errores humanos [4].

Existen otros métodos encontrados en otros trabajos que comprueban los beneficios de utilizar ondas electromagnéticas para la detección de nutrientes [5] [6] [7], haciendo de su uso una técnica más eficiente, exacta e inmediata que el método tradicional. Se tomó como principal referencia la investigación realizada en la Universidad Politécnica Salesiana titulada: "Análisis y simulación del uso de ondas radioeléctricas para la detección de la concentración de los principales nutrientes en el suelo" [8].

De este trabajo nace la necesidad de contar con el diseño de un dispositivo que cumpla con los requerimientos establecidos para la detección de nitrógeno, potasio y fósforo. El equipo que permite utilizar este principio de mejor manera es el radar.

Existen diferentes tipos de radares de subsuelo, entre los cuales sobresalen el de frecuencia escalonada que transmite una secuencia de frecuencias en incrementos regulares que oscilan en un ancho de banda definido y el radar de impulso que trabaja en el dominio del tiempo, donde la señal de impulso de radiofrecuencia transmitida y la respuesta de energía reflejada se encuentren en función del tiempo [9]; debido a los requerimientos exigidos por el estudio precedente, se escogió el radar de subsuelo de impulso.

El diseño de radar propuesto es un radar de subsuelo de impulso en donde los subsistemas que lo componen se lo realizó en base a simulaciones, referencias en otros trabajos y hojas del fabricante, trabajando por separado cada componente del radar hasta verificar que presenten un adecuado funcionamiento.

Para el transmisor del radar de subsuelo se consiguió que la forma de onda y la duración del pulso presenten las características que permitan detectar objetos pequeños, y trabajar a una frecuencia de 968.25MHz cuyo valor permite una resolución en el suelo a una profundidad mínima de hasta 4cm.

La antena debe ser tipo bocina ya que en las simulaciones es el modelo que cumple con los parámetros de directividad, frecuencia y ganancia necesarios para la señal enviada por el transmisor y su posterior recepción.

El receptor debe digitalizar la onda reflejada en el suelo y recibida por la antena, debido a la alta frecuencia de la señal generada en el transmisor la velocidad de muestreo es de 2.5GSPS cumpliendo así con el teorema de Nyquist [10], además debe poseer un conversor analógico-digital con una resolución mínima de 10 bits, que permitan diferenciar los datos digitalizados del potasio, nitrógeno y fósforo.

El procesamiento de los datos adquiridos, requiere la implementación de una lógica de programación capaz de identificar a los diferentes nutrientes en el suelo.

Es así que se obtuvo el diseño final del radar cuyos subsistemas tienen como elementos un transmisor acoplado con el circuito SRD-SHAPPER y el circuito de tiempo (555); una antena de bocina doble ridged modelo VT10180DRHA10SK con un circulador RF para permitir la transmisión y recepción con la misma antena; se incluye la tarjeta AD9625-2.5EBZ-ND que cuenta con 2.5 GS/s y 12 bits de conversión como etapa de recepción, para adecuar la transferencia de datos a la computadora (Unidad de Control) se añade la tarjeta HSC-ADC-EVALEZ.

2. Fundamentación

En el trabajo "Análisis y simulación del uso de ondas radioeléctricas para la detección de la concentración de los principales nutrientes en el suelo" [8], se introduce un método para el análisis de suelos que basa sus resultados en los efectos de las ondas electromagnéticas sobre la permitividad dieléctrica (ε)y la conductividad (σ) de los nutrientes, concretamente del fósforo, potasio y nitrógeno que se encuentran en suelos arcillosos, para conocer la concentración de los mismos en una sección de terreno, realizando el análisis de la onda incidente y reflejada en base al algoritmo matemático de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD) [8].

Este método requiere un análisis en el dominio del tiempo por lo que el radar escogido debe ser uno que se adapte a este tipo de análisis, el radar que se adecua a este requisito es el radar de subsuelo de impulso, que transmite una señal RF, en donde la onda incidente que es emitida choca con los macronutrientes básicos en un terreno para la agricultura los cuales son: potasio, nitrógeno y fosforo, Y esto causa que la onda se refleje.

La velocidad de la onda reflejada difiere de la incidente debido a que cuando se tienen objetivos menos densos, la velocidad de propagación es menor, la onda reflejada llega nuevamente al origen luego de esperar por un periodo de silencio.

Una vez obtenida la energía que es reflectada por el efecto de la retro dispersión, se debe contemplar todos los tipos de pérdidas existentes en el sistema como por ejemplo el tipo de antena, el medio de propagación, el cambio de frente de onda, dispersión de la onda por agentes externos, etc. Con los datos obtenidos se observa cuanto cambió la onda sus propiedades y con estos datos conocer qué tipo de macronutrientes pudo detectar la onda que fue devuelta a la fuente.

2.1 Parámetros de diseño

En el diseño del geo-radar de impulso para detección de nutrientes en suelos arcillosos se tiene en cuenta parámetros como la potencia de la señal generada, la frecuencia, el tipo de suelo, y el modelo de la antena que se va a utilizar. Todos estos parámetros se encuentran caracterizados en la ecuación del radar (1) que se muestra a continuación:

$$Pr = \frac{PtGtGr}{(4\pi)^3 R^4} \frac{RCS}{Lt} \lambda^2 \quad (1)$$

Donde:
Pr es la potencia recibida en vatios.
Pt es la potencia transmitida en vatios.
Gt es la ganancia de la antena transmisora.
Gr es la ganancia de la antena receptora.
R es el alcance del objetivo en metros.
RCS es la sección transversal del radar del objetivo enterrado en metros cuadrados.
λ es la longitud de onda de la señal transmitida por el aire en metros.
Lt son las pérdidas totales de propagación.

Los suelos arcillosos tienen propiedades que inciden en el comportamiento de las ondas de radiofrecuencia como las pérdidas o la velocidad de la señal al atravesar el medio. Dichas propiedades eléctricas se pueden observar en la tabla 1 [11] [12] [13].

Tabla 1: Características Eléctricas de los Suelos Arcillosos.

Permitividad Relativa	9-25
Permitividad Efectiva	15
Permeabilidad Magnética	≥1
Impedancia	10-100 Ω/m
Conductividad	0.1-100 mS/m

La longitud de onda de la señal, está relacionada a la selección de la frecuencia con la que se tendrá la resolución adecuada para analizar la profundidad mínima en la que el radar identificará nutrientes en el suelo. La ecuación (2) de resolución vertical permitió conseguir como frecuencia de trabajo del radar de subsuelo el valor de 968,25 MHz para una profundidad mínima de 4 centímetros, en base a esta frecuencia se diseñarán todos los elementos que intervienen en el diseño del sistema radar.

$$\Delta Rz = \frac{c}{2f\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (2)$$

Donde:
ΔRz : Penetración máxima.
ε_r : Permitividad relativa del suelo.
c: Velocidad de las ondas de RF en el vacío.
f : Frecuencia.

3. Metodología

Se trabajó con cada subsistema del radar por separado para comprobar el correcto funcionamiento tanto del transmisor, antena, receptor y unidad de control, como se puede observar en la figura 1.

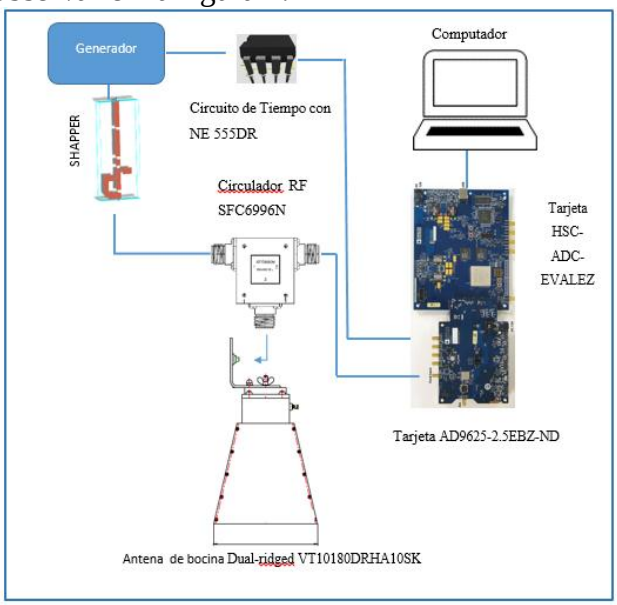


Figura 1. Diagrama de Bloques del Diseño Tentativo del Radar de Subsuelo para la Detección de Nutrientes.

3.1 Método de simulación del transmisor

El transmisor cuenta con un generador de impulso el cual proporciona la señal cuadrada inicial, donde el SRD-SHAPPER es el encargado de moldear esta señal inicial a un pulso monociclo, debido a que no existe un generador de impulso comercial, la simulación se la lleva a cabo con un generador estándar el cual proporciona los pulsos que requiere el radar.

Para la validación del transmisor se realizó la simulación, del dispositivo SRD-SHAPPER el cual permite obtener la señal de pulso requerida por el radar según las especificaciones del trabajo de investigación precedente. Con este objetivo se utiliza el software ADS (Advanced Desing System) para simular el diseño obtenido en la investigación de (Amnoiy, Desing of UWB radar sensors, 2008) [14].

Otro componente esencial dentro del transmisor es el circuito de tiempo, que se encargará de dar el intervalo de tiempo suficiente entre el primer pulso generado y el siguiente para que el circuito receptor pueda procesar correctamente los valores recibidos de la señal reflejada, los radares se pueden clasificar dependiendo de su forma de sincronización [15], pueden ser auto sincronizado (cuando los pulsos de control son generados desde el transmisor) o externamente sincronizados (cuando los pulsos de control son generados desde un oscilador maestro), las opciones para oscilador maestro más conocidas son: blocking oscillator, sine-wave oscillator y un multivibrador astable, todos son comercialmente asequibles, pero cada uno posee características diferentes.

La principal diferencia radica en la obtención de los pulsos de control, cuando se utiliza un blocking oscillator los pulsos se obtienen directamente del oscilador, mientras que al usar un sine-wave oscillator o un multivibrador astable son necesarios circuitos formadores de pulso (pulse-shapping).

Este circuito tiene valores típicos de frecuencia entre 10 KHz y 1MHz, siendo el más utilizado la frecuencia de repetición de pulso (PRF) de 100 KHz. Con este valor se tendrá un tiempo de repetición de pulso (PRT) gracias a la fórmula que se muestra a continuación:

$$PRT = \frac{1}{PRF} = \frac{1}{100KHz} \quad (3)$$

Teniendo como resultado un tiempo de repetición de pulso de 10 micro segundos para el procesamiento de la información. El circuito de tiempo propuesto trabaja a una frecuencia de 100 KHz, haciendo uso del timer 555 en su configuración monoestable.

3.2 Método de simulación de la antena

La antena de bocina es el modelo que tiene las mejores características para un georadar de impulso, debido a su mayor ganancia directiva, una banda de frecuencias más amplio, ancho de haz más estrecho [16], y un VSWR (relación de onda estacionaria de voltaje) capaz de ser reducido a través de la inclusión de un componente geométrico dieléctrico en su interior [17] [18].

El modelo general de la antena de bocina, se la realizó en el programa HFSS, el cual es un software de simulación que permite modelar objetos pasivos a frecuencias altas, y así observar su comportamiento, permitiendo variar tanto el material como la geometría de fabricación de la antena, la frecuencia de trabajo; definiendo el campo eléctrico y la dirección de radiación de la señal.

3.3 Selección del Receptor

Se debe muestrear la señal recibida de la antena, teniendo en cuenta el teorema de Nyquist-Shannon, por lo que es necesario tener como mínimo una frecuencia igual o mayor a 2 GHz en el circuito de muestreo y retención, a esta característica se lo conoce como parámetro de ancho de banda del receptor [19].

Con la señal muestreada se debe proceder a digitalizar los valores analógicos de la señal recibida, teniendo como información la amplitud máxima de las ondas transmitidas hacia el suelo (0.8, 0.55, 0.38) [8] y los valores de amplitud esperados en la señal recibida que identifican la concentración de nutrientes en el terreno; con esta información se estableció una relación del número mínimo de bits de conversión que se necesitarían para obtener valores digitales que identifiquen a los nutrientes en el suelo, que se encuentren a una misma profundidad y su evaluación se haya realizado con el mismo nivel de voltaje. Los valores digitales se obtienen mediante el uso de la ecuación (3).

$$Vd = \frac{Va \times 10^N}{A} \quad (3)$$

Donde:
Vd es el valor digital a la salida del ADC.
Va es el valor analógico a la entrada del ADC.
N es el número de bits del ADC.
A es la amplitud de la señal transmitida.

Tabla 2. Relación entre los valores analógicos de amplitud establecidos en los nutrientes con los valores digitales para un conversor A/D de 10 bits.

Amplitud de 0.8						
	Nitrógeno		**Potasio**		**Fósforo**	
Profundidad (cm)	Valor Analógico	Valor Digital	Valor Analógico	Valor Digital	Valor Analógico	Valor Digital
16	0,233036589	298	0,244686202	313	0,221052377	283
12	0,233530137	299	0,242078882	310	0,216660744	277
8	0,2304715	295	0,239600119	307	0,210695591	270
4	0,221481905	283	0,231218895	296	0,202948911	260
Amplitud de 0.55						
16	0,155570499	290	0,160621207	299	0,14678123	273
12	0,136463415	254	0,144522972	269	0,127579068	238
8	0,134376509	250	0,14241765	265	0,125938283	234
4	0,132984975	248	0,142383178	265	0,121073054	225
Amplitud de 0.38						
16	0,128362717	346	0,129499038	349	0,129119811	348
12	0,0853672	230	0,088157154	238	0,08074052	218
8	0,084540509	228	0,086794226	234	0,079951734	215
4	0,08283942	223	0,082651901	223	0,079771842	215

3.4 Lógica de la Unidad de Control

La unidad de control está manejada por un microcontrolador o computadora, el cual es encargado de diferenciar los datos en función de su valor y tiempo en el que se produjo, para identificar si se halló algún nutriente y cuál es su concentración en el suelo.

Para cumplir este objetivo se aplicó el principio time-of flight donde "Se mide el tiempo entre la transmisión de un pulso y la recepción de un eco para proporcionar una distancia" [20]. Para lo cual se utilizó la ecuación (4):

$$t = \frac{2 \times R \times \sqrt{\varepsilon_r}}{c} \quad (4)$$

Donde:
t : Es el tiempo en que se recibirá la señal reflejada.
ε_r : Permitividad relativa del suelo.
c: Velocidad de las ondas de RF en el vacío.
R : Profundidad.

Tabla 3. Relación del tiempo con las profundidades establecidas en el suelo.

Profundidad (m)	Tiempo (s)
0,04	1,0328E-09
0,08	2,06559E-09
0,12	3,09839E-09
0,16	4,13118E-09

Con esta información se pudo desarrollar la lógica de programación que tendría que incorporarse a la Unidad de Control del radar,

4. Discusión

En "Design of UWB Radar Sensors" [14] se presenta la construcción de un radar de subsuelo enfocado en el circuito de pulso de la señal y el diseño de un nuevo modelo de antena, en "Development of a Prototype High-Frequency Ground-Penetrating Radar System" [21] se desarrolla el prototipo de un radar de subsuelo para aplicaciones en carreteras, y en "Long-Range Ultra-Wideband Radar Sensor for Industrial Application" [22],se presenta un radar de subsuelo para aplicaciones donde se localizan objetivos con un coeficiente de reflectividad bajo.

La metodología utilizada en el presente trabajo muestra el diseño de los componentes del radar realizado en base a simulaciones teniendo en cuenta que los elementos escogidos se adapten a los requerimientos que necesita el radar para la detección de nutrientes.

Se utilizó el circuito SRD-SHAPPER para modelar la forma de onda monociclo en lugar de un generador de señales de laboratorio, utilizado en los trabajos mencionados, debido a que no existe un generador en el mercado que entregue la señal requerida para su transmisión, además no se consideró la utilización de un osciloscopio como elemento encargado del análisis de la información de la onda recibida, ya que se propone la utilización de una tarjeta de adquisición de datos, lo que haría del diseño no solo experimental sino también comercial.

Finalmente, por ser un diseño de radar para la identificación especifica de componentes, no se tomó en cuenta el procesamiento de valores típico de los radares de subsuelo, es decir a través de la adquisición de imágenes, se propuso el análisis de la información a través de la digitalización de los valores de onda reflejada de los nutrientes junto a la lógica de programación.

5. Análisis y resultados

5.1 Transmisor

Los resultados obtenidos para el transmisor se basan en las simulaciones del componente SRD-SHAPPER dado que es este el que provee de la forma de onda para el proceso de transmisión y el circuito de tiempo que es el encargado de la sincronización, y del generador de impulso solamente proporciona una señal RF en la frecuencia de trabajo (968.25 MHz) y con la forma de un pulso cuadrado estándar.

La simulación del circuito de tiempo fue elaborada en el software Proteus, en el cual se implementó el diagrama de circuito reloj, obteniendo un pulso generado a la frecuencia de 100KHz, el cual se requiere para la sincronización del sistema (figura 2).

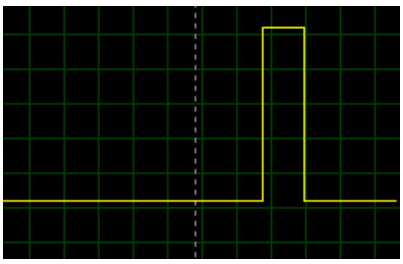


Figura 2. Resultado de la simulación del circuito reloj en el Software Proteus.

En la figura 3 se puede observar la señal de entrada al circuito de adaptación, en otras palabras, es la señal proporcionada por el generador de impulso a la entrada del circuito de transmisor.

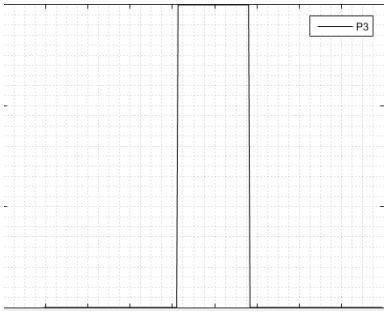


Figura 3. Resultado de la simulación en el punto de prueba #3.

En la figura 4 se muestra la respuesta de la señal cuadrada inicial tras haber pasado por la primera etapa de SRD por lo cual toma la forma de un pulso gaussiano.

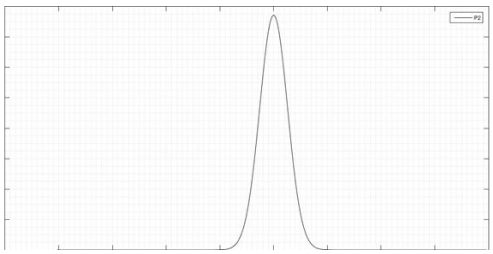


Figura 4. Resultado de la simulación en el punto de prueba #2.

En la figura 5 se observa la respuesta a la salida del SRD-SHAPPER, tras pasar por la última etapa SRD el pulso gaussiano toma la forma de un pulso monociclo el cual se entrega a la antena.

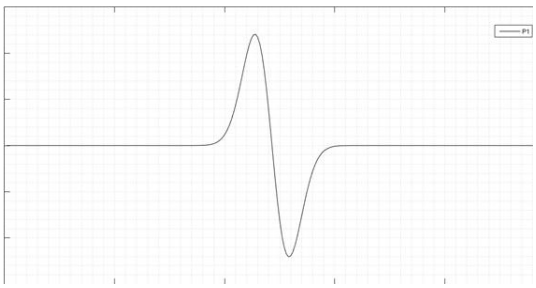


Figura 5. Resultado de la simulación en el punto de prueba #1.

5.2 Antena

Los resultados obtenidos para la antena de bocina en general se basan en su comportamiento presenten en el parámetro de Scattering S11, el VSWR, la ganancia y el patrón de radiación.

La caracterización del parámetro S11 mostrado en la figura 6, indica que en la frecuencia escogida para la antena (968.25 MHz) y frecuencias cercanas no se tiene gran porcentaje de onda reflejada ya que se encuentra en valores menores a -32 dB, la reflexión tiende a ser ascendente, lo cual denota que a mayor frecuencia la antena de bocina no trabaja.

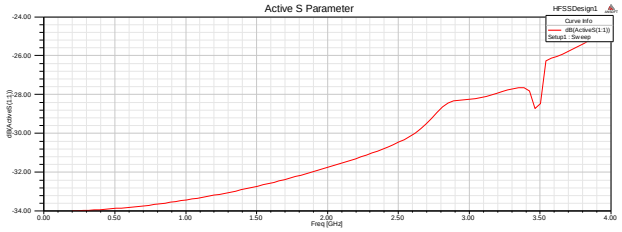


Figura 6. Parámetro S11 de la antena de bocina realizado en HFSS 13.0.

En la figura 7 se muestra la caracterización del parámetro VSWR (Voltage Standing Wave Ratio), que indica la potencia reflejada de la antena, es decir la energía que no se está radiando hacia el exterior y por consiguiente expresa pérdidas en la transmisión. En el diseño de la antena de bocina, con la inclusión del componente dieléctrico se disminuye el parámetro VSWR, ya que este valor es cercano a 1 (<1,05), con lo cual se garantiza una transmisión de la señal casi en su totalidad.

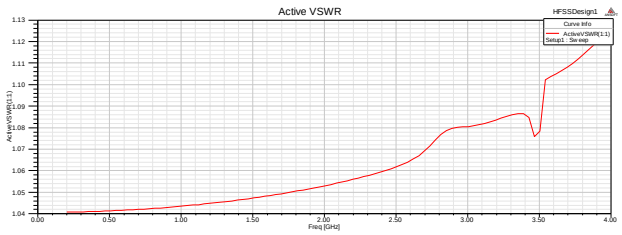


Figura 7. Parámetro VSWR de la antena de bocina realizado en HFSS 13.0.

En la figura 8 se puede observar el patrón de radiación de la antena de bocina la cual cuenta con dos grandes lóbulos principales, esto debido a la estructura geométrica de la antena (ancho) y la inclusión del parcial dieléctrico, la cual al tener una composición diferente, presenta una discontinuidad en la radiación de la antena, pero sin tener mayor impacto al radiar la señal en el terreno, ya que los lóbulos principales siguen siendo mayores a los lóbulos secundarios, lo cual disminuye el porcentaje de dispersión de la señal y garantiza la probabilidad de tener una gran directividad en el diseño del radar. Se garantizó que la inclusión del dieléctrico no afecte a la transmisión y recepción de la señal en base a la

simulación de los parámetros característicos de la antena con lo que se comprobó que su ganancia se encuentra en los rangos característicos de este tipo de antena, además el valor de su eficiencia permite un buen rendimiento.

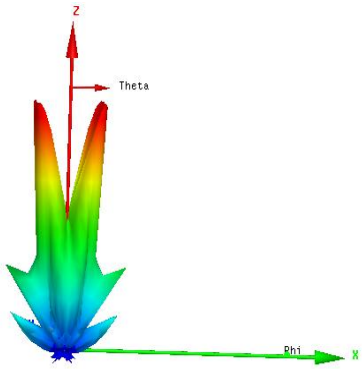


Figura 8. Patrón de radiación de la antena de bocina realizado en HFSS 13.0.

Al comprobar en simulaciones que la antena de bocina cumple con los requerimientos exigidos para el rendimiento apropiado en el sistema de radar de subsuelo, se buscó en el mercado un modelo que se asemeje a dichas especificaciones, con lo cual se encontró el modelo VT10180DRHA10SK tipo bocina, y con el componente dieléctrico de tipo dual-ridged. Para garantizar que realice tanto la transmisión y recepción de la señal se encontró el circulador de radiofrecuencia RF SFC6996N.

5.3 Receptor

En este subsistema se debe garantizar que los componentes que intervienen tengan los requisitos establecidos, como la frecuencia de muestreo con un valor mínimo de 2 GHz, bits de conversión, fiabilidad de funcionamiento que se refiere a que el circuito ha sido utilizado en otros proyectos, rango dinámico que evite la distorsión de la señal al incluir ruido, potencia para evitar el número de señales parásitas a procesar.

Se realizó un estudio cuantitativo de los circuitos HMC760 y AD9652 contra la tarjeta AD9625-2.5EBZ-ND determinando que la tarjeta AD9625-2.5EBZ-ND es la más apta para su utilización.

Tabla 4. Comparación entre los circuitos HMC760 y AD9652, frente a la tarjeta AD9625-2.5EBZ-ND

Opciones para el receptor	Frecuencia de Muestreo	Bits de Conversión	Fiabilidad de la Funcionalidad del Circuito	Rango Dinámico	Potencia	Calificación
Circuitos HMC760 junto a AD9652	8	9	4	3	4	5.6
AD9625-2.5EBZ-ND	6	7	9	8	8	7.6

5.4 Unidad de Control

Se utilizará la tarjeta AD9625-2.5EBZ-ND, la cual tiene algunas salidas especiales entre las que destaca la interfaz JESD204B del tipo serial, pero se presenta la dificultad de transferir los datos a altas velocidades de la tarjeta hacia la unidad de control que podría ser una computadora. La tarjeta de memoria HSC-ADC-EVALEZ permite almacenar los valores digitales transmitidos desde la tarjeta ADC en su memoria y reducir la velocidad de transmisión hacia el procesamiento de la información en la Unidad de Control, por dicho motivo es el complemento ideal para el manejo de los datos digitalizados. Las características de la tarjeta HSC-ADC-EVALEZ se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Características y precio de la tarjeta HSC-ADC-EVALEZ.

Interfaces	JESD204B
	USB 2.0
Velocidad de muestro máxima	2.5 GS/s
Análisis	FFT
	Dominio del tiempo
Fabricante	Analog Devices
Compatible OS	Windows
Técnica de almacenamiento y transmisión	FIFO

El tratamiento mediante la Técnica FIFO de la información permite que el primer valor que entra a la memoria sea el primer dato en salir hacia el procesamiento, lo que garantiza que no haya solapamiento de datos lo que hubiera producido información errónea del subsuelo analizado.

6. Conclusiones

El método en el que se basa este trabajo requiere de un radar que realice su análisis en el dominio del tiempo a través del envío de una señal de radiofrecuencia monociclo mediante el uso del dispositivo SRD-SHAPPER, debido a que no existe comercialmente un generador de impulso para obtener esta señal.

La longitud de onda de la señal, está relacionada a la selección de la frecuencia con la que se tendrá la resolución adecuada para analizar la profundidad mínima en la que el radar identificará nutrientes en el suelo, en este caso se escogió la resolución de 4 cm, debido a que para una resolución mayor implicaría la utilización de una frecuencia más alta a la determinada (968.25 MHz), la cual sería difícil de procesar.

La validación de la antena mediante su simulación en el programa HFSS determinó que la antena de bocina tipo dual ridged es apta para trabajar en la frecuencia determinada para el radar, ya que el parámetro Scattering S11 se encuentra en valores aproximados a los -32 dB.

En la resolución del subsistema receptor del georadar propuesto, se determinó que 10 es el número de bits de conversión mínimo que se debe usar para pasar de valor analógico a digital, garantizando que los valores digitales no deben repetirse ni solaparse. La tarjeta AD9625-2.5EBZ-ND con 12 bits de conversión cumplió con este requisito.

7. Referencias

[1] MAGAP, «Superficie por Categoróas de Uso de Suelo,» MAGAP - CGSIN - Dirección de Investigación y Generación de Datos Multisectoriales, 2012.

[2] Universidad de la República de Uruguay, «Facultad de Cencias,» [En línea]. Available: http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Nutrientes%20del%20suelo.pdf.

[3] R. Bernier Villarroel, «Diagnóstico de la Fertilidad del Suelo,» Centro Editorial de Investigación Remehue , 2015.

[4] M. Merchán, F. Valverde , V. Novoa y M. Pumisacho, Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado de suelos, Quito: INIAP, 2009.

[5] J. M. Botero Herrera , «Determinación del Nivel Foliar de Nutrientes mediante Espectrometría de Reflectancia,» Universidad Nacional de Colombia , Medellín , 2009.

[6] R. Castro R., «Sistema para seguimiento y Análisis de Tierras mediante Teledetección,» Pontificia Universidad Católica de Chile, 1999.

[7] J. Rouse, H. Macdonald y W. P. Waite, «Geoscience Applications of Radar Sensors,» IEEE, pp. 2-19, 1969.

[8] G. A. Fonseca Carrion y C. X. Salazar Freire, «Análisis y simulación del uso de ondas radioeléctricas para la detección de la concentración de los principales nutrientes en el suelo,» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2015.

[9] H. M. Jol, «Ground Penetrating Radar System and Design,» de Ground Penetrating Radar Theory and Applications, Elsevier, 2009, p. 75.

[10] B. R. Escalante, «Procesamiento Digital de Imágenes,» Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2006.

[11] A. S. Turk, A. K. Hocaoglu y A. A. Vertiy, de Subsurface Sensing, New Jersey, John Wiley & Sons, 2011, p. 62.

[12] A. Galván Diego, «Resistividad del Terreno,» SPT CIMEMOR, 2012.

[13] W. E. Patitz, B. C. Brock y E. G. Powell , «Measurement of Dielectric and Magnetic Properties of Soil,» Sandia National Laboratories , Albuquerque, 1995.

[14] R. Amnoiy, «Desing of UWB Radar Sensors,» Kassel university press, kassel, 2008.

[15] GRATED, «GRATED,» 10 febrero 2016. [En línea]. Available: http://www.tpub.com/neets/book18/80.htm.

[16] A. S. Turk, A. K. Hocaoglu y A. A. Vertiy, de Subsurface Sensing, New Jersey, John Wiley & Sons, 2011, pp. 7-8.

[17] A. S. Turk, A. K. Keskin y M. Ilarslan, «Partial Dielectric Loaded TEM Horn and Reflector Antenna Designs for UltraWide Band Ground Penetrating Radar Systems,» Applied Radio Electronic, 2013.

[18] A. S. Turk, A. K. Keskin y M. D. Senturk, «Dielectric loaded TEM horn-fed ridged horn antenna design for ultrawideband ground-penetrating impulse radar,» Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, Estambul, 2013.

[19] R. R. Rivera, «Instrumentación virtual aplicada al estudio de sistemas complejos,» Universidad Nacional de Mar del Plata , Mar del Plata, 2010.

[20] L. Roveron, «A New System Based on Laser Interferometers and Optical Distantiometers for the Assessment of the Chest Wall Mechanics,» Politecnico Di Milano, Milan, 2011.

[21] J.-S. Lee, C. Nguyen y T. Scullion, «Development of a Prototype High-Frequency Ground-Penetrating Radar System,» Texas Department of Transportation, Austin, 2002.