

EL MÉTODO GPR (GROUND PENETRATING RADAR) EN DIFERENTES ESTUDIOS DEL SUBSUELO

(The GPR (Ground Penetrating Radar) in different studies of the subsoil)

Fredy Alexander Fonseca Benítez

Escuela de Ingeniería Geológica, UPTC-Sogamoso,
frefonseca@yahoo.com

(Recibido mayo 25 de 2006 y aceptado septiembre 20 de 2006)

<p>Resumen: El presente artículo expone múltiples aspectos sobre una de las técnicas geofísicas más utilizadas en la actualidad. El método GPR es de gran utilidad en la solución de problemas en distintas ramas de la ciencia aplicada y en especial en situaciones donde se haga necesario conservar intacto el medio de estudio. El funcionamiento del GEORADAR se basa en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas, las cuales varían en función de las propiedades electromagnéticas del material, así como de algunos parámetros del medio. Las variaciones en las ondas electromagnéticas son captadas por la unidad receptora, posteriormente enviadas a la unidad de registro donde luego los datos sufren un tratamiento el cual nos reproduce una imagen de alta resolución del material. La profundidad de investigación tal como la resolución depende del tipo de antena empleada, la cual varía en función de la frecuencia. La regla indica que a mayor frecuencia, mayor resolución, pero menor profundidad de investigación.</p>	<p>Abstract: This article exposes manifold aspects on one of the most used geophysical techniques at the present time. Method GPR is very useful in the solution of problems in different branches of the applied science and in special in situations where it becomes necessary to conserve intact setting to study. The operation of the GEORADAR is based on the emission and reception of electromagnetic waves, which vary based on the electromagnetic properties of the material, as well as of some parameters of the setting. The variations in the electromagnetic waves are caught by the receiving unit, later they are sent to the record unit where the data suffer a treatment which reproduces a hi-res image of the material. The depth of investigation as the resolution depends on the type of antenna used, which varies based on the frequency. The rule indicates that at greater frequency, greater resolution, but smaller depth of investigation.</p>
<p>Palabras clave: GPR, geofísica, tomografías.</p>	<p>Key words: Ground Penetration Radar, geophysical, tomografías.</p>

1. INTRODUCCIÓN

El método de GPR, es un método no destructivo, lo cual es importante debido a que no genera una alteración en el medio ambiente, además no es necesario un contacto físico (electrodos), lo que hace que el tiempo destinado a la toma de datos sea menos en comparación con otros métodos.

La técnica se basa en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas. A partir de los tiempos de llegadas de las ondas reflejadas y la velocidad de propagación, las ondas en el medio en el cual se deslizan las antenas, es preciso deducir la profundidad a la cual se encuentra el objeto reflector.

La tecnología del Georadar, es relativamente reciente puesto que los primeros ensayos datan de las primeras décadas del siglo XX, en la década de los 70 se logró el desarrollo de un método práctico.

Los primeros estudios fueron orientados hacia las áreas de geología y glaciología, pero rápidamente se encontró aplicación en otros campos como el de la ingeniería civil.

Las primeras etapas de investigación fueron conducidas a la determinación de las propiedades electromagnéticas de los materiales investigados, así como a encontrar un rango de frecuencias en el cual el funcionamiento fuera óptimo.

A fines de los 80 y principios de los 90 se completa el diseño y la construcción de los primeros equipos, tales como se conocen en la actualidad.

El funcionamiento del Georadar es similar al de un radar de detección, la diferencia fundamental radica en el medio de propagación, el cual en el caso del Georadar es de tipo heterogéneo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Fundamento del sistema GPR

El sistema GPR consiste principalmente en tres partes; una unidad emisora, la cual genera las ondas electromagnéticas incidentes en el medio, una unidad receptora, la cual se encarga de detectar las ondas electromagnéticas resultantes, y una unidad de control encargada de almacenar y mostrar en la pantalla del ordenador los datos obtenidos en el levantamiento.

Su funcionamiento consiste en la emisión de ondas electromagnéticas, las cuales inciden en un medio heterogéneo, con base en los tiempos de retardo de la onda reflejada y el cálculo de la velocidad de propagación de la onda en el material presente se puede encontrar la ubicación del objeto reflector.

La interacción de la energía en las desigualdades del subsuelo causa una reflexión, refracción, así como la difracción de las ondas (ver Figura 1).

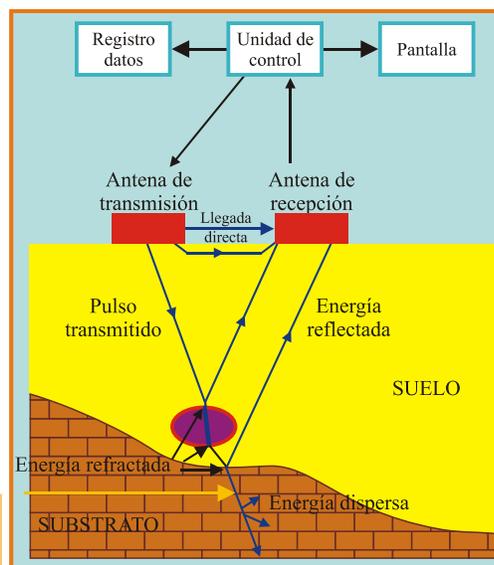


Figura 1. Esquema de funcionamiento del sistema GPR.

Las refracciones se presentan en forma de rectas en el registro, y para su aparición debe cumplirse que la velocidad de propagación aumente con la profundidad, esta refracción nos permite estimar el valor de la velocidad de propagación como el inverso de la pendiente de cada una de las rectas.

La prospección con GPR capta los cambios en las propiedades electromagnéticas de los materiales del subsuelo, puesto a que estas propiedades junto con las características de la onda gobiernan la propagación de la energía en el medio.

Los fundamentos físicos que rigen el comportamiento de las ondas electromagnéticas al propagarse son: la óptica geométrica y la teoría de los campos electromagnéticos.

Las ecuaciones de Maxwell ligan a los campos eléctricos y magnéticos con las fuentes que los producen, a partir de una serie de variables características para cada medio determinado.

La técnica GPR es similar a la sísmica de reflexión, pues los fenómenos asociados a la propagación de energía, así como la obtención y el procesamiento de los datos son los mismos, se diferencian principalmente en la frecuencia utilizada y el método de propagación empleado en cada técnica. Mientras que el GPR funciona con un rango de frecuencias del orden de 10 a 1000 MHz y el método de propagación está en función de las características electromagnéticas de los materiales, la reflexión sísmica no sobrepasa los 1000 Hz y su propagación de las ondas mecánicas en el medio.

2.2 Equipos

El Georadar consiste principalmente en tres unidades, aunque puede presentar otra, la cual se encarga de georeferenciar el trabajo y recibe el nombre de sistema de posicionado.

2.3 Antenas

Son las encargadas de generar los pulsos electromagnéticos y recibir las reflexiones ocasionadas. Existen dos tipos de antenas:

Antenas monoestáticas: en este tipo de antenas se emite y se recibe una onda electromagnética de una frecuencia dada. Con este tipo de antena se pueden adquirir datos mediante los métodos de perfiles, mediciones puntuales y sondeos (ver Figura 2).

Antenas biestáticas: en este tipo de antenas la unidad emisora está separada de la unidad receptora, lo cual nos permite obtener los datos mediante los métodos utilizados con las antenas monoestáticas, así como punto medio en común y tomografías (ver Figura 3).

2.4 Métodos de adquisición de los datos

En la obtención de las mediciones existen varios métodos de adquisición, los cuales están en función de lograr la mejor calidad en la toma de los mismos, a continuación se enuncian algunos.

2.5 Adquisición de perfiles

Se desplaza la antena a lo largo de una línea, se puede utilizar un GPS de tal manera que el trabajo quede referenciado. Durante el desplazamiento se emite un elevado número de pulsaciones por segundo, (se pueden emitir de 1- 100 pulsaciones por segundo), esto permite la adquisición de datos que aunque en realidad es puntual se puede considerar continua, por la cantidad de trazas que se tienen en todo el perfil.

El número de datos por segundo que se obtiene depende de la velocidad de desplazamiento de la antena. La velocidad de desplazamiento debe ser constante por lo que se hace necesario la utilización de un odómetro. Para antenas apantalladas

monoestáticas el trabajo puede ser realizado colocando la antena sobre el terreno, mientras que para la antena biestática es preciso que sea elevada mas o menos 5 cm de la superficie.

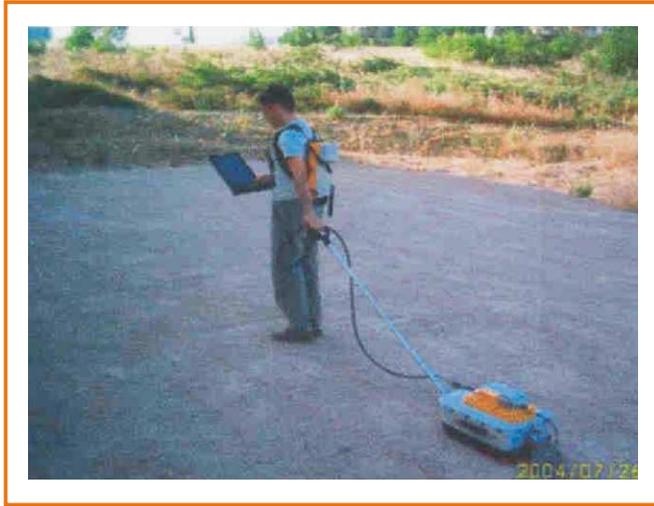


Figura 2. Antena monoestática.

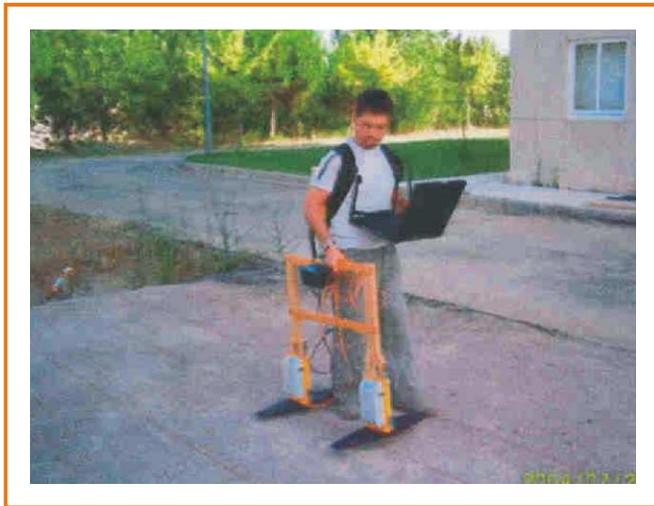


Figura 3. Antena biestática.

2.6 Adquisiciones puntuales

Se ubica la antena en un punto dado del área de estudio, y sin efectuar ningún desplazamiento en las antenas se realiza la emisión de energía y la adquisición de datos. De esta manera obtenemos información del medio bajo la vertical con respecto al punto. Si es realizado con una antena biestática se obtiene información correspondiente a la zona central entre ambas en las que se produce la reflexión. Se utilizan zonas en las cuales no se permite el desplazamiento adecuado de la antena.

2.7 Punto medio común

Conocido también como punto común en profundidad o punto de reflexión común. Este método se realiza con antenas biestáticas desplazando la emisora y la receptora en direcciones opuestas, respecto a un punto central entre ambas. Las antenas deben estar equidistantes con respecto a dicho punto (ver Figura 4).

Al representar los datos obtenidos en una gráfica distancia vs tiempo, se obtiene la forma de una hipérbola si únicamente tenemos un reflector bajo las antenas.

La ecuación de esta hipérbola depende del tiempo de propagación, de la distancia entre antenas, de la velocidad de propagación de las ondas por el medio y la profundidad a la cual se ubica el objeto reflector.

A partir de los datos conocidos es posible obtener los parámetros del medio (velocidad efectiva de propagación, profundidad del reflector). Si bajo las antenas existe más de un medio reflector, el resultado es una hipérbola por cada una de ellos.

Los registros resultantes, contienen información sobre diferentes tipos de ondas electromagnéticas:

- Onda propagada por el aire.
- Onda directa propagada en el primer medio.
- Reflexiones registradas en forma de hipérbolas.
- Refracciones de aquellas ondas que inciden en una discontinuidad con ángulo crítico, observadas en el registro en forma de recta.

La detección de ondas refractadas permite encontrar velocidades de propagación, como el inverso de la pendiente de las rectas registradas. Las ondas refractadas se producen si la velocidad del medio aumenta con la profundidad, es decir, si la permitividad relativa disminuye.

Un aumento del contenido de agua de un medio hace que la velocidad de la onda disminuya.

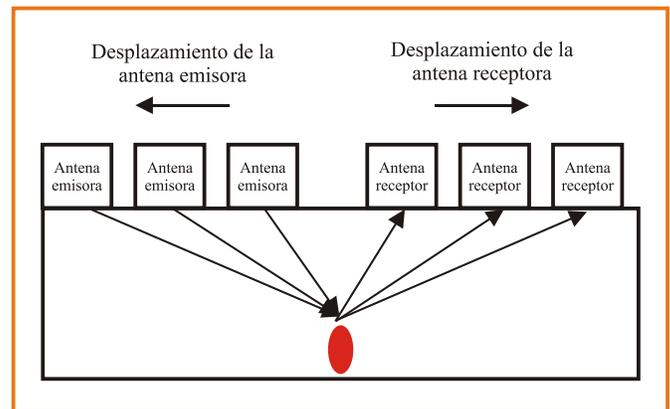


Figura 4. Adquisición de datos por el método el Punto Medio Común.

2.8 Otros métodos

- Tomografías:

Se aplica en muros y medios de dos superficies paralelas en las que puedan ser situadas las antenas. Tiene una alta aplicabilidad en muros y columnas (antenas de alta frecuencia), túneles y minas (antenas de bajas frecuencias) (ver Figura 5).

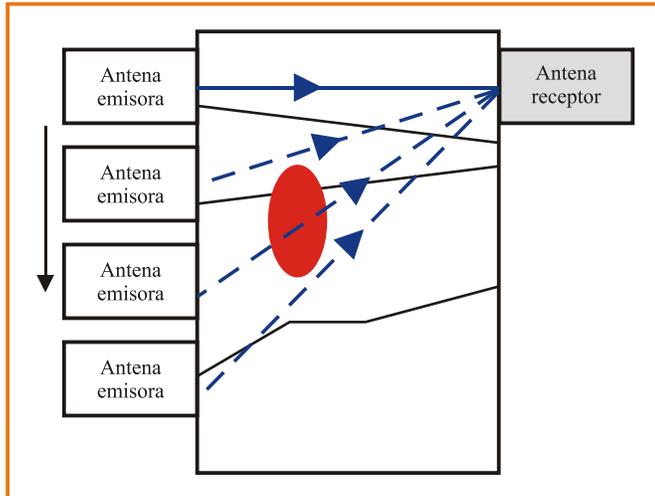


Figura 5. Adquisición de datos por el medio de tomografías.

- Reflexión-refracción:

Se utiliza en medios donde las superficies reflectoras son aproximadamente planas y paralelas a la superficie. Este método consiste en dejar una antena estática y desplazar la otra aumentando la distancia entre ambas (ver Figura 6).

- Sondeos:

Se puede realizar de tres formas: (ver Figura 7)

- o Único sondeo
- o Sondeo continuo
- o Sondeo antena Bore Hole (ver Figura 8).

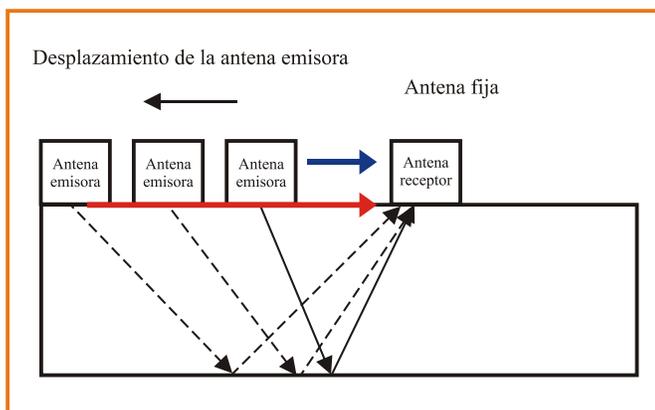


Figura 6. Adquisición de datos por el método reflexión - refracción.

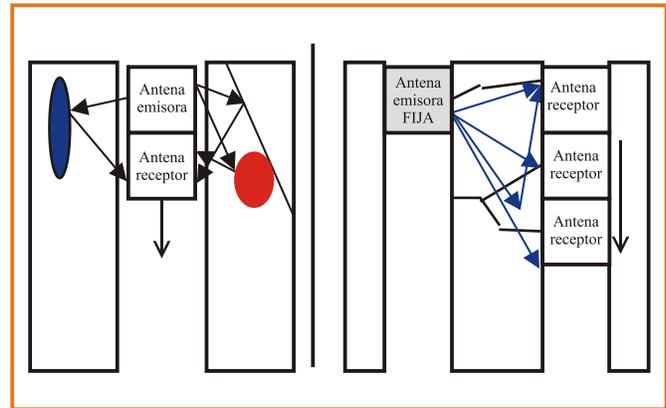


Figura 7. Adquisición de datos por medio de sondeos.

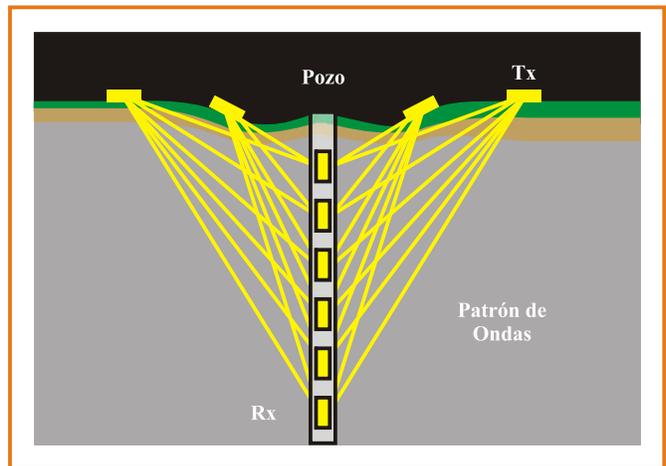


Figura 8. Adquisición de datos por el método Bore Hole.

2.9 Procesamiento de datos

Antes de interpretar los datos obtenidos estos deben sufrir un procesamiento con el fin de mejorar la resolución y la relación señal ruido, lo cual es debido a atenuaciones de las ondas irradiadas, ruidos externos y ruidos del instrumento. Los datos deben procesarse en función de las características del GPR, el entorno geológico y los objetos a investigar.

Los ruidos encontrados en los perfiles del GEORADAR son debido a fuentes como:

- Objetos en la superficie del terreno
- Cables de alta tensión
- Semáforos
- Señales electromagnéticas de alta frecuencia (antenas, microondas, celulares)

El procesamiento tiene tres etapas:

- Preprocesamiento: Filtro DC: atenuar las señales de bajas frecuencias. En esta etapa también se calcula la velocidad de propagación y la profundidad a la cual se encuentra el objeto.

- Ganancia: corregir la atenuación de la señal debido a la penetración de la misma en el terreno.
- Filtrado: en esta etapa del procesamiento es importante la experiencia del intérprete, consiste en eliminar o minimizar aquellas señales que no son generadas por la geología.

3. RESULTADOS

Se muestran resultados de los estudios efectuados con el Georadar de exploración del subsuelo.

Entre las aplicaciones de este método se encuentran el estudio de estructuras, localización de instalaciones enterradas, investigaciones geológicas, estudios arqueológicos, forenses, prospección y exploración en el subsuelo, etc.

Se considera un método no destructivo, el cual tiene las ventajas de:

- Rapidez en su ejecución por disponer de información sobre la posición exacta de las infraestructuras que puedan verse afectadas.
- Evitar daños a las infraestructuras localizadas.
- Optimizar económicamente los trabajos de perforación.
- Estudios detallados por capas.
- Detección de discontinuidades y fallas del terreno.

En la Figura 9, se observan las hipérbolas de difracción correspondientes a una tubería, así como deflectores estratigráficos horizontales. El límite inferior situado a 1.70 m, corresponde al nivel freático.

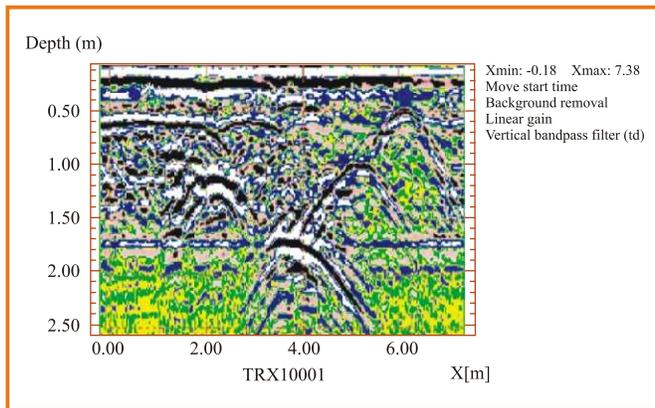


Figura 9. Radargrama obtenido sobre una tubería. Fuente: Bordehore Jordá. (2002).

En la Figura 10, se detectaron las capas superficiales, relleno de la zanja y tubería.

En la Figura 11, se detectan los diferentes materiales que se encuentran por debajo del perfil.

En la Figura 12, se aprecia la continuidad de los reflectores y el buzamiento de las capas. El perfil se realizó perpendicular a la dirección de la estratificación.

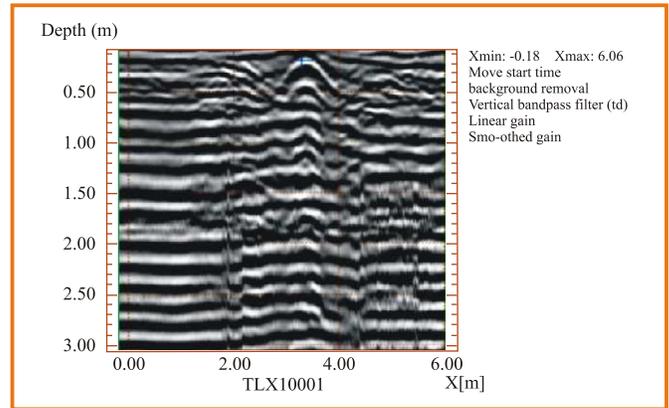


Figura 10. Radargrama obtenido sobre una tubería. Fuente: Bordehore Jordá. (2002).

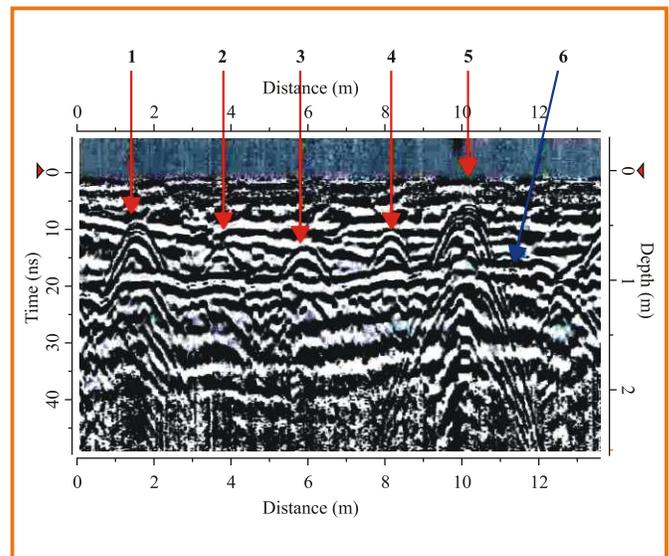


Figura 11. Radargrama obtenido sobre un perfil. 1. tubo metálico 2. Muro de piedras 3. Bobina de cable eléctrico 4. Tubo de PVC 110 mm 5. Botón metálico 6. Separación de la capa material 1 y 2. Fuente: Bordehore Jordá. (2002).

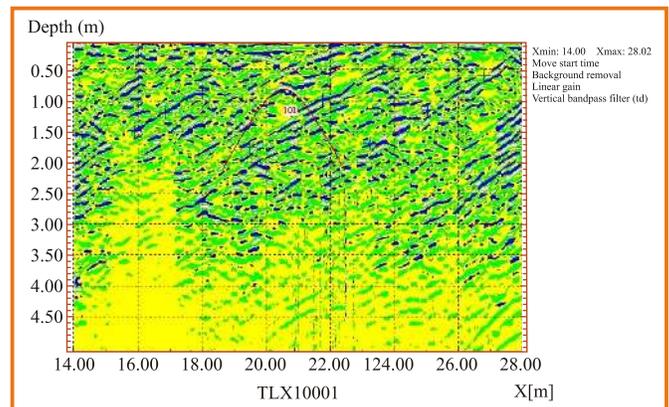


Figura 12. Radargrama para determinar la estratificación. Fuente: Jordá Bordehore. (2002).

En la Figura 13 se aprecia un perfil donde se han determinado las fallas presentes.

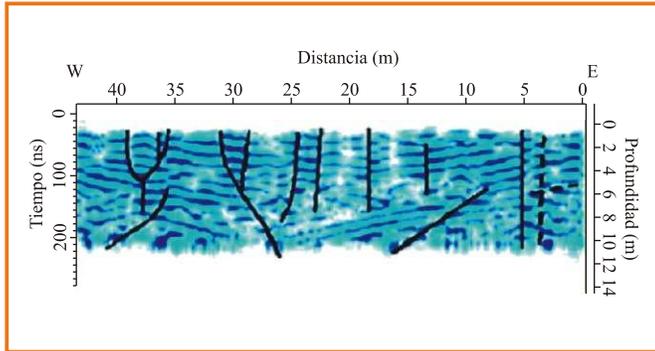


Figura 13. Radargrama para determinar la estratificación.

Fuente: Petráš Daniel. (2003).

La elevada resolución de los perfiles de GPR, puede ser aprovechada para la localización de asentamientos diferenciales por sobrecarga de estructuras sobre suelos con baja capacidad portante.

En la Figura 14, se presenta un ejemplo de reconocimiento del subsuelo con el fin de detectar grietas presentes en el concreto.

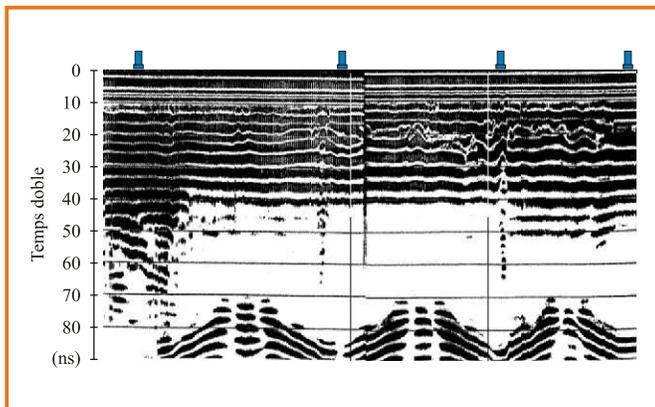


Figura 14. Radargrama para determinar zonas de asentamientos.

Fuente: Acosta J. y otros. (2003).

4. CONCLUSIONES

El método de prospección por GPR se basa en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas, reproduciendo imágenes de alta resolución del subsuelo.

La profundidad de investigación y el grado de resolución depende del tipo de antena utilizada y de la frecuencia empleada.

En antenas apantalladas (alta frecuencia) se obtiene un mayor control de ruido, lo que quiere decir que se obtiene una mayor resolución y una menor profundidad de investigación en comparación con una antena no apantallada.

El GPR es un método de tipo no destructivo, en el cual no es necesario utilizar un contacto físico “electrodos”.

El método es útil para buscar cuerpos con un gran contraste en las propiedades electromagnéticas con el medio encajante.

El método de prospección GPR es similar al método sísmico de reflexión, en la toma de datos y en el procesamiento de los mismos. Se diferencian en el rango de la frecuencia utilizados, y en que las ondas utilizadas en GPR se propagan en función de las propiedades electromagnéticas del medio, y no dependiendo de las propiedades mecánicas del material como ocurre en el método sísmico.

Por lo que consideramos que con esta investigación, hemos profundizado en un tema de gran interés y relevancia actual, el cual puede ser una herramienta muy importante a emplear en la resolución de problemas planteados al ingeniero geólogo.

5. REFERENCIAS

- Acosta J. y otros. (2005). Resultados de la utilización del GEORADAR (GPR) en la evaluación de yacimientos lateríticos de Cuba Oriental, GEOMINERA S.A. p.p. 1-8.
- Bordehore, J. (2002). Técnicas geofísicas en el reconocimiento del subsuelo: Georadar y tomografías eléctricas. Casos prácticos. pp. 1-22
- Petráš, D., (2003). Investigación y Exploración de acuíferos kársticos a través de Métodos Geofísicos, Seminario de la Cátedra Geofísica General, Universidad Central de Venezuela, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. pp. 1-54.