

Georradar: Utilización de una antena para la detección y localización de una estructura soterrada.

Georadar: Use of an antenna for the detection and location of an underground structure.

Presentación: 11/09/2023

Adrián Stavole

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina.

Francostavole00@gmail.com

Joel Agüero

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina.

Joelaguero.09.10@gmail.com

Mateo Dacunda

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina.

mateocbp@gmail.com

Resumen

Los georradares son herramientas de inspección no destructiva que emplean una antena para emitir y recibir ondas electromagnéticas y analizar materiales sin dañarlos. La antena digital HS 350 de GSSI es una opción disponible en el mercado, capaz de explorar grandes profundidades, lo que la convierte en una valiosa herramienta para detectar sistemas de desagüe pluvial. Este estudio se centra en la aplicación del georradar en la ciudad de Santa Fe, específicamente sobre la obra "Desagüe Llerena", de la cual se dispone de planos detallados. Se han realizado trabajos de campo para comparar los datos de los planos con los obtenidos mediante georradar. Los resultados indican una alta coincidencia cuando la zona sobre el conducto presenta una capa homogénea de suelo. La contribución esperada de este trabajo se centra en determinar las condiciones que afectan la aplicación de la técnica de evaluación y en el desarrollo de estrategias para mejorar la calidad de resultados obtenidos.

Palabras clave: Estructuras; Detección; Georradar; Ensayo no destructivo; Dieléctrico

Abstract

Ground-penetrating radars are non-destructive inspection tools that utilize an antenna to emit and receive electromagnetic waves and analyze materials without causing damage. The GSSI HS 350 digital antenna is an available option in the market, capable of exploring significant depths, making it a valuable tool for detecting stormwater drainage systems. This study focuses on the application of ground-penetrating radar in the city of Santa Fe, specifically on the "Llerena Drainage" project, for which detailed plans are available. Fieldwork has been conducted to compare the data from the plans with those obtained through ground-penetrating radar. The results indicate a high level of consistency when the area above the conduit has a homogeneous soil layer. The expected contribution of this work lies in determining the factors affecting the application of the evaluation technique and in developing strategies to enhance the quality of the results obtained.

Keywords: Structures; Detection; Georradar; Non destructive test; Dielectric.

Introducción

Actualmente existen muchas metodologías para detectar, evaluar, y analizar patologías producidas en distintos tipos de obras civiles. No obstante, en la gran mayoría de los casos es necesario generar algún tipo de rotura en la estructura para analizar su estado, siendo a veces impracticable. En este contexto surge el empleo de georradars para realizar inspecciones no destructivas ni invasivas, que trabajan a partir de una unidad emisora de ondas electromagnéticas y otra unidad receptora con un sistema de registro digital, que a partir de mediciones calcula profundidades en las que se encuentran el cuerpo reflector y los materiales que atraviesan dichas ondas.

El georradar constituye una técnica no destructiva para brindar imágenes de alta resolución del subsuelo y las estructuras mediante ondas electromagnéticas. Opera en un rango amplio de frecuencias que determinan la precisión y profundidad de la onda. El campo electromagnético emitido por el radar interactúa con el área de estudio y en cualquier interfaz que corresponda un cambio en las propiedades de la constante dieléctrica, la onda se refleja, se transmite y es detectada por la antena receptora. (Benedetto et. al, 2015)

Surge entonces el concepto de “constante dieléctrica”, una propiedad electromagnética con la cual distintos materiales como suelo, hormigón, arena o agua, entre otros, pueden ser caracterizados. La velocidad de propagación de una señal electromagnética a través de un material está en función de la constante dieléctrica del mismo. (Morey et. al, 1998). Por tanto, se podría decir que la constante dieléctrica se relaciona con la conductividad y velocidad a la cual se propaga la energía a través de un material determinado. El equipo empleado en este trabajo asigna valores a esa constante dieléctrica en el rango de 1 a 81, donde 1 representa el aire y 81 el agua. Cuando las ondas atraviesan un material que se encuentra en un límite dieléctrico, la señal sufre grandes variaciones, y todo lo que se ubique por fuera de rango es muy difícil de detectar. El conocimiento del valor dieléctrico permite calcular la profundidad a la que se encuentra un material. Además, de manera similar a lo que sucede con las ondas lumínicas cuando la energía atraviesa dos materiales, con dieléctricos diferentes se produce una reflexión. Este fenómeno se utiliza para visualizar y localizar diversos materiales.

Según sea el cambio de dieléctrico de uno con valor superior a uno con valor inferior, se produce una reflexión negativa lo que resulta en una visualización opaca, que generalmente se representa de color negro. Por el contrario, cuando el cambio es de un valor inferior a uno superior se visualiza de color blanco. Cuanto mayor sea la diferencia entre los valores dieléctricos de dos materiales, mayor es el contraste y mejor la calidad de la reflexión observada.

La representación gráfica de estos datos muestra la profundidad de la medición en el eje vertical y la distancia recorrida en el eje horizontal. Cada objeto o capa del subsuelo que refleja las ondas electromagnéticas aparece como una característica en el radagrama. Esto es lo que permite identificar la ubicación y la profundidad de los objetos buscados.

En el radagrama se distinguen hipérbolas de diversas tonalidades que representan los distintos materiales soterrados. Esto sucede porque el equipo no solo visualiza el objeto cuando se encuentra encima de éste, sino que comienza a hacerlo en escaneos previos a esa posición, y continúa visualizándolo en escaneos posteriores. El vértice de la hipérbola es donde el objeto realmente se encuentra. La forma de la hipérbola depende principalmente de la velocidad a la que viajan las ondas por el material, cuanto mayor sea esa velocidad (dieléctrico bajo) más ancha serán las hipérbolas y viceversa. En la Figura 1 se muestra cómo se visualiza un radagrama con hipérbolas.

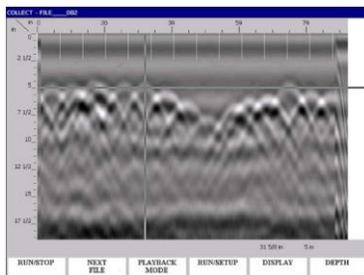


Figura 1 – Radargrama como resultado de medición.

Procesamiento de datos.

El software para el procesamiento de datos es el “Radan 7”, diseñado por la firma GSSI para procesar, ver y documentar datos 2D y 3D recopilados con una variedad de antenas. Éste proporciona combinación de canales, eliminación de fondo y exportación. Al importar las mediciones al software este devuelve dos pestañas de archivos, uno con filtros aplicados por defecto por el programa y otro con el archivo “crudo”. Además, el programa cuenta con diferentes tipos de filtros para ser aplicados a los fines de facilitar la interpretación de los datos. Entre ellos pueden mencionarse los siguientes:

- Time Zero: Diversos efectos pueden causar desfases en la primera llegada de señal al receptor. Este filtro permite hacer una corrección ubicando la primera amplitud de onda en cero.
- Background Removal: Elimina las líneas horizontales causadas por el ruido o interferencias.
- Noise Band.
- Gain: Su principal función es mejorar la visibilidad del radargrama aplicando factores de amplificación.
- Deconvolución.

La antena es la que genera la onda y permite que el radar distinga los objetos y características bajo la superficie, según el dieléctrico de estos. Dentro de la antena se encuentra el receptor de la señal, el cual colecta la energía electromagnética en forma de reflexión o eco que ocurre cuando la onda choca con un objeto que tiene diferentes propiedades eléctricas en relación con el medio que lo rodea, y luego envía la señal al procesador, el cual extrae la información importante. La pantalla de visualización de datos que posee la unidad de registro de datos con la que cuenta el georradar, muestra los datos “crudos” que sólo pueden ser utilizados cuando se requiere una interpretación de los datos en el momento mismo de las mediciones (Daniels, 2000). Luego, una mejor interpretación de esos datos debe realizarse en gabinete utilizando el software “Radan 7” en conjunto con imágenes, videos y demás información complementaria con que se cuente. (Uddin, 2014).

El presente trabajo tiene como objetivo la configuración y puesta a punto de una antena de georradar para la detección de una estructura de desagüe enterrada, construida recientemente, y de la cual se ha podido obtener documentación conforme a obra que permitió el contraste de los datos allí vertidos. Para lograrlo, se utilizará la antena digital HS350 para revelar la estructura existente, procesar los datos obtenidos en campo mediante el software y contrastar esta información con los datos proporcionados en los planos conforme a obra.

Se desarrollan las técnicas empleadas para el llevado a cabo de las mediciones y el procesamiento de la información, a saber: la obtención de los datos en campo, como primera etapa del trabajo; y posteriormente la interpretación de esos datos en gabinete, haciendo énfasis en el uso del software provisto por el fabricante.

Finalmente, se expone una breve descripción de la obra en cuestión, el motivo por el cual ha sido escogida esta para realizar las pruebas de campo para este trabajo, y la manera de operar el equipo para el relevamiento de los datos.

Metodología

Equipamiento empleado

El equipo utilizado pertenece a la gama de productos de la firma GSSI, y cuenta con los siguientes componentes:

- Antena digital HS350 con odómetro integrado para la medición de distancias.

- Unidad de control SIR 4000, la cual cuenta con una pantalla de visualización le permite ver los datos en tiempo real o en modo de reproducción. En ella se realizan las configuraciones para luego realizar las mediciones en campo, se configura principalmente el modo de trabajo, el dieléctrico a utilizar y la cantidad de escaneos.
- Programa de procesamiento de datos Radan 7.

La antena digital HS350, trabaja una frecuencia de 350 MHz, por ende, se la clasifica como una antena de baja frecuencia. Esto hace que su principal aplicación sea la búsqueda de materiales enterrados a profundidades hasta siete metros con una buena precisión.



Figura 2– Antena digital HS 350



Figura 3 – Unidad controladora SIR 4000.

Caso de estudio

En el contexto de prácticas para poner a punto las técnicas de detección de estructuras soterradas a partir del empleo de un equipo georradar recientemente adquirido, se han identificado distintas obras civiles, factibles de ser relevadas con la antena digital HS350, y procurando obtener previamente documentación fehaciente de su construcción que permita luego contrastar los resultados obtenidos.

Uno de esos casos ha sido el de la obra del Desagüe Llerena, un tramo entubado de excedentes pluviales ejecutado en la ciudad de Santa Fe, cuya fecha de finalización fue en el año 2017. Se trata de un conducto de hormigón armado, de sección rectangular compuesta por dos vanos, cuya traza recorre el subsuelo de la calzada de la calle Llerena (que le da nombre) y desemboca en la Laguna Setúbal. Constituye una obra que ha sido interesante analizar debido a que, en su recorrido, el conducto atraviesa diferentes esquemas de fases por encima, con distintos materiales, tales como: estructuras de pavimentos rígidos y flexibles, con capas de suelo compactado, así como sectores donde la tapada solo está conformada por una capa de arena de río. Esta situación ha permitido enriquecer el análisis.

Se ha podido acceder a los planos conforme a obra, los cuales definen la ubicación del conducto, los datos de la sección transversal, y la altimetría de la traza donde puede leerse las tapadas a lo largo del recorrido.

Se han llevado a cabo mediciones en dos secciones diferentes, en sentido transversal a la dirección de escurrimiento, con el objetivo de determinar la tapada del conducto y dimensiones de la sección. La figura 4 muestra la planimetría del sector relevado.



Figura 4 – Ubicación de las mediciones realizadas

El primer relevamiento se ha realizado sobre un próximo a la desembocadura, donde por encima del caño hay una única fase constituida por arena de río producto del dragado del fondo de la laguna. El perfil tipo se muestra en la figura “1”. En dicho caso se ha utilizado un valor de dieléctrico de 14 para la medición. (Aca no se si deberíamos aclarar porque usamos ese dieléctrico).

La segunda instancia de medición se efectuó sobre la calzada, en el sector indicado como “2” en la figura 4. Allí, de acuerdo con los planos conforme a obra, la tapada existente es de 0,9 m aproximadamente. El perfil tipo se muestra en la figura 6.

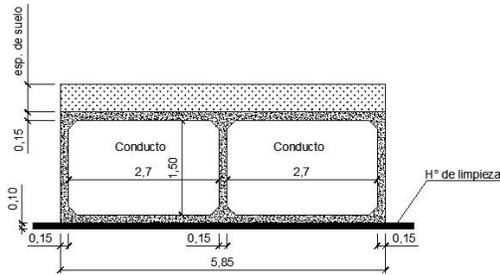


Figura 5 – Perfil sobre traza N° 1.

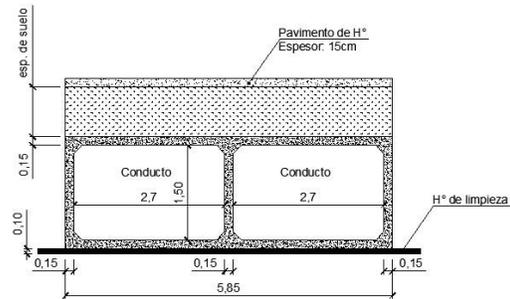


Figura 6 – Perfil sobre traza N° 2.

Resultados y discusiones

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, los resultados de las mediciones se traducen en radagramas, donde se identifican hipérbolas y franjas de diferentes tonalidades de grises. A continuación, se presentan los radagramas obtenidos para las mediciones efectuadas, sin ningún tipo de filtro aplicado. La Figura 7 representa el radagrama de la medición en la playa, mientras que la Figura 8 muestra las mediciones sobre la calzada.

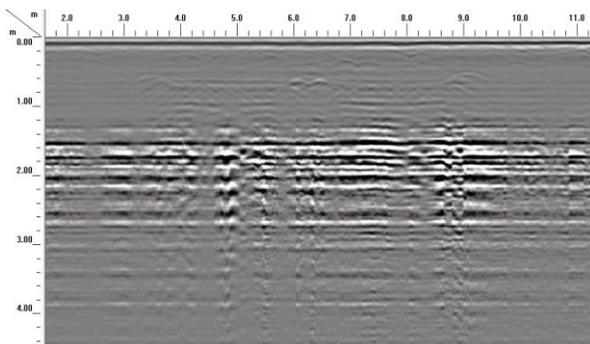


Figura 7 – Resultado sin filtrar sobre traza N°1.

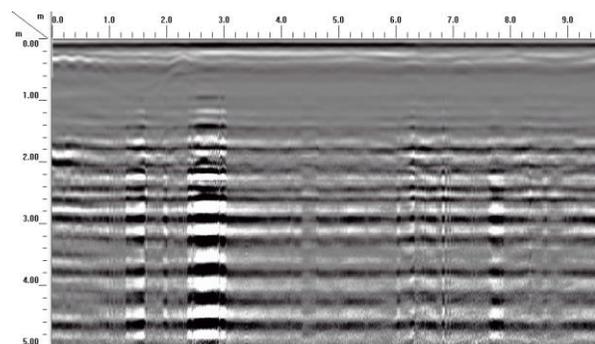


Figura 8 – Resultado sin filtrar sobre traza N°2.

Posteriormente, con el empleo del software Radan 7, se utilizaron una serie de filtros para visualizar de mejor manera los radagramas. De manera consecutiva se aplicaron los siguientes filtros: Time zero; Background Removal y Noise Band; Migratón; Gain; y Deconvolution.

El resultado para la primera medición ha sido el que se observa en la Figura 9.

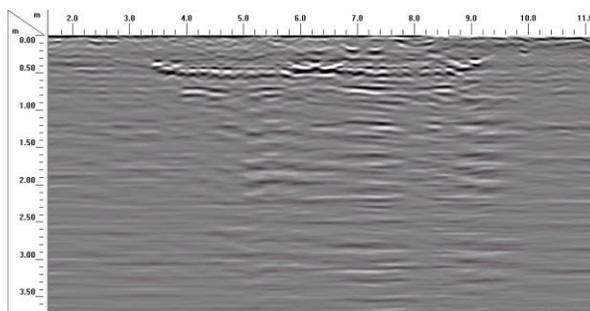


Figura 9 – Radargrama con filtros aplicados. 1ra medición

Las hipérbolas superiores que se encuentran aproximadamente a 0,5 m de profundidad y en longitud desde 3,5 m hasta los 9 m coinciden con la supuesta ubicación del conducto; además, aproximadamente a 6,2 m y a la misma profundidad, se logran visualizar otras hipérbolas, las cuales se sospecha son del tabique central que separa los dos vanos del conducto. Todos estos datos concuerdan con la información brindada por la documentación conforme a obra.

Al respecto de franja ubicada a 1,5 m a lo largo de todo el escaneo, se interpreta que la misma podría indicar la presencia de la napa freática.

En efecto, el radagrama resultante estaría mostrando la losa superior del conducto de hormigón, mientras que luego cuando la onda supera el espesor de esa losa y viaja a través del aire, ésta se pierde y solo se replica la imagen. Por tanto, no estaría siendo posible obtener información de lo que se encuentra por debajo (losa inferior y subsuelo).

En relación con los resultados, luego de la aplicación de los filtros del procesamiento, para el radagrama obtenido de la segunda medición, puede afirmarse que la visualización no ha provocado mejorada suficiente que permita obtener de ella información contrastable con los datos de los planos.

Conclusiones

Sobre la base de que los resultados de las mediciones que en este trabajo se exponen forman parte de prácticas iniciales de uso del equipo georradar, orientadas a conocer las prestaciones y poner a punto las técnicas a emplear a futuro, resultan válidas las siguientes conclusiones:

- La antena digital HS 350 ha sido efectiva para la detección de la estructura soterrada cuando ha debido atravesar una única fase, es decir un solo material de relleno de tapada; y en cambio ha presentado dificultades cuando por encima de la estructura se sitúa un perfil de diversas fases de materiales (capas de la estructura del pavimento y suelo).
- Cuando la señal de la antena digital HS 350 encuentra una fase al límite de conductividad, ésta se pierde y deja de ser efectiva.
- Los resultados obtenidos de las mediciones deben siempre procesarse con el software. El análisis de los radagramas sin procesamiento (“crudos”) implica altas posibilidades de cometer errores de interpretación.

Referencias bibliográficas

Benedetto, A., Et. Al (2015) “Civil Engineering Applications of Found Penetrating Radar”. Suiza: Springer International Publishing. 337pp.

Cifuentes Gálves, A. (2017). “Auscultación, proceso e interpretación de datos obtenidos por georradar aplicado a estructuras de pavimento y casos de geotecnia civil”, Tesis (Grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil). Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, 99 págs.

Daniels, J. (2000). “Grounds penetrating Radar Fundamentals”. U.S. EPA, Region V, 21 págs.

Lopez, P., Et. Al (2018) “Uso del georradar para la identificación y definición geométrica de estructuras de cimentación en edificaciones existentes”. Zaragoza, España. Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia. 6 págs.

Uddin, W. (2014). "An overview of GPR applications for evaluation of pavement thickness and cracking," Proceedings of the 15th International Conference on Ground Penetrating Radar, Brussels, Belgium, pp. 925-930.

Geophysical Survey Systems Inc. (2014-2017) "Manual SIR 4000 MANUAL", 40 Simon Street, Nashua, Estados Unidos, 157 págs.

Geophysical Survey Systems Inc. (2001-2017) "Concrete Handbook", 40 Simon Street, Nashua, Estados Unidos, 36 págs.