

XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“RECONOCIMIENTO DE PATRONES PARA LA LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS PLÁSTICOS DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA MEDIANTE GPR”

Silvia J. Ocaña Levario (1), David Ayala Cabrera (2), Rafael Pérez García (3), Joaquín Izquierdo (4), Manuel Herrera (5)

(1) (2) (3) (4) FluIng-IMM- Universitat Politècnica de València, C de Vera s/n, Edificio 5C, 46022 Valencia, España. e-mail: silocle@upv.es, daaycab@upv.es, rperez@upv.es, jizquier@upv.es
(5) BATir Dép., Université libre de Bruxelles, Av. F. Roosevelt, 50, B-1050 Bruselas, Bélgica. e-mail:mherrera@ulb.ac.be

RESUMEN

En este estudio se realizó la captura de imágenes provenientes de GPR (ground penetrating radar) bajo condiciones controladas de laboratorio, extrayéndose diferentes perfiles (cortes) de la zona de estudio, tomando como base perfiles sin tubería, para confrontarlos con perfiles con tuberías de materiales plásticos (PVC y polietileno) enterradas, siendo evaluada la viabilidad de extraer patrones que nos indiquen la presencia de tuberías plásticas dentro de la zona de estudio. Con ello se pretende hacer más eficiente la localización de anomalías y componentes de las redes de abastecimiento por personal no específicamente cualificado en el uso de GPR como técnica no destructiva.

Palabras claves: Detección de tuberías plásticas, georadar, reconocimiento de patrones, sistemas de abastecimiento de agua, técnicas no destructivas.

ABSTRACT

In this study, capturing of GPR (ground penetrating radar) images produced under controlled laboratory conditions has been made. Essays consist of extracting different slices of the area of study. By confronting control images slices without pipelines and slices with buried plastic pipelines (PVC and polyethylene), the feasibility of extracting patterns that indicate presence of plastic pipelines in the studied area is evaluated. We intend to make easier the location of abnormalities and components of water supply systems for personnel not specially qualified in GPR equipment as a non-destructive technique.

Key words: Detection of plastic pipelines, GPR, pattern recognition, water supply systems, non-destructive techniques

SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

Silvia Janeth Ocaña Levario actualmente es estudiante de máster en el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València y es miembro del grupo de Investigación FluIng-IMM. Es Ingeniero Civil egresada de la Universidad Autónoma de Chihuahua (Chihuahua-México). Tres años de experiencia como supervisión de obra y presupuestos (México). Actualmente sus líneas de investigación se centran en la generación de herramientas metodológicas para el análisis de componentes de sistemas de abastecimiento de agua, mediante GPR.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los principales problemas a los que se enfrentan los sistemas de abastecimiento de agua (SAA), es el desconocimiento de los trazados y las características de sus componentes. Este desconocimiento limita la adecuada gestión del sistema. Las inspecciones periódicas en las redes de abastecimiento urbano son necesarias, ya que las mismas permiten detectar problemas tales como: fugas, anomalías en la red o el deterioro de la misma. Estas inspecciones facilitarían intervenciones más rápidas y eficientes en las redes. Es así como los métodos no destructivos (específicamente GPR, en este documento), se muestran como una herramienta, que favorece la inspección de los componentes de SAA, sin un impacto económico y social elevado.

En los últimos años el uso de tuberías de materiales plásticos (PVC y polietileno) en las redes de los SAA ha ido incrementando considerablemente. Siendo este tipo de tuberías comúnmente empleadas en redes secundarias y acometidas. Estos materiales, por su parte, presentan dificultad de localización mediante el uso de métodos no destructivos. Sin embargo, el GPR se ha mostrado como una herramienta que permite su detección. Siendo, no obstante, que en las imágenes de GPR, se presenta dificultad de visualización de tuberías de este tipo de materiales. Con lo cual, el nivel de experiencia (por parte de los operarios), en la detección de este tipo de materiales en imágenes de GPR, debe ser elevado para su interpretación. Esta dificultad de visualización, es consecuencia de las características dieléctricas de estos materiales, que no permiten contrastes fuertes con el entorno circundante.

Este trabajo pretende ser un avance hacia el reconocimiento de patrones de tuberías plásticas de SAA. Esto con el objetivo de generar una herramienta que permita la detección de patrones de manera automática mediante el uso de técnicas de inspección no destructivas (específicamente GPR). Para ello, se emplea la tecnología GPR (ground penetrating radar), que permite la localización de objetos en el subsuelo sin alterar el medio sobre el

que se trabaja. Es así como el presente trabajo, se enfoca en la mejora de la interpretación de las imágenes de GPR (radargramas). Esto con miras a identificar patrones que permitan detectar la presencia de tuberías plásticas en imágenes de GPR, sin necesidad de que el operador cuente con una gran experiencia.

BASE CIENTÍFICO – TEÓRICA

El método de prospección con GPR, se basa en la emisión de pulsos electromagnéticos desde la superficie del suelo, que se propagan en el mismo y se reflejan en las discontinuidades que haya a su paso. La energía de los pulsos reflejados se mide sobre la superficie mediante dispositivos receptores. La respuesta del medio a las señales emitidas, captada en tiempos determinados, se denomina traza. La traza contiene las características electromagnéticas del medio prospectado. La sucesiva acumulación de estas trazas genera lo que se ha denominado radargrama. Los radargramas generalmente son visualizados mediante la aplicación de escalas de colores a los diferentes valores de amplitud de onda captados, de lo cual se obtiene la imagen de la prospección. Este último aspecto es de particular interés en este documento, debido a que el proceso se realiza basándose en imágenes GPR de tuberías plásticas enterradas. En la Figura 1, se presenta de manera esquemática el proceso de prospección GPR hasta su posterior conversión en imágenes. Las ecuaciones de Maxwell son la base teórica en la que se sustenta el fenómeno, en conjunto con las denominadas ecuaciones constitutivas, que relacionan la intensidad del campo eléctrico y magnético con el desplazamiento eléctrico y la inducción magnética, respectivamente, permitiendo correlacionar las interacciones entre las ondas electromagnéticas y los medios en los cuales se propagan (Tavera, et al 2008). Esta tecnología puede resolver en gran medida los problemas del subsuelo de una manera eficiente y precisa, sin recurrir a métodos invasivos.

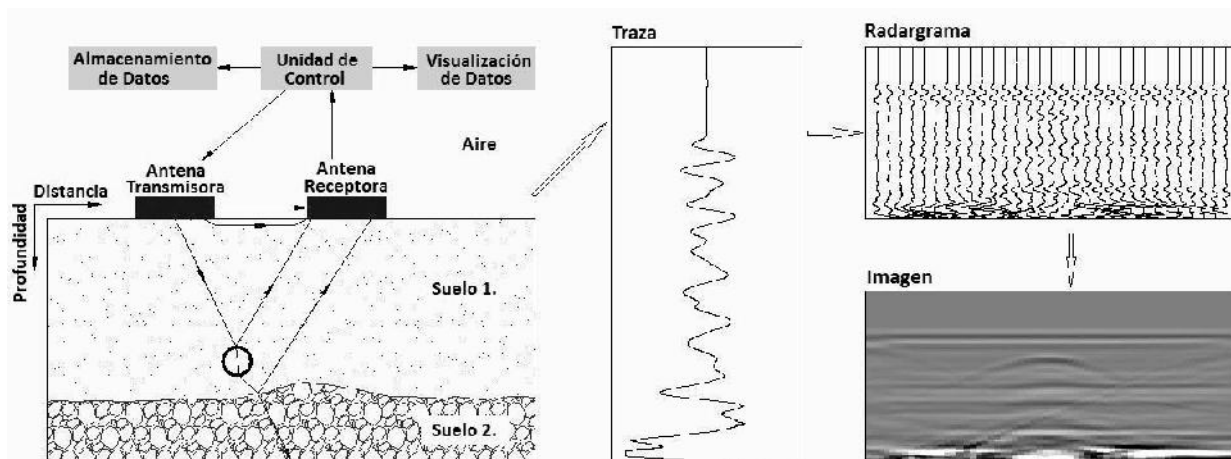


Figura 1.- Captura de imágenes con prospección GPR.

Fuente: Ayala-Cabrera (2011)

METODOLOGÍA

En el transcurso y realización del presente trabajo se utilizaron metodologías de pre-procesamiento desarrolladas por Ayala-Cabrera (2013) para el tratamiento de imágenes de GPR. Estas metodologías, fueron planteadas, con la finalidad de mejorar la visualización de tuberías en imágenes de GPR, lo cual permite análisis más detallados e interpretación más certera de las imágenes de GPR. En este apartado se describe la metodología aplicada para la obtención de imágenes mediante GPR de las dos tuberías plásticas (PVC y polietileno) a estudiar. Para ellos se realizaron ensayos en laboratorio bajo condiciones controladas, empleando un tanque de madera (1.00×1.00×0.55m) lleno de material arcillo-limoso con un poco de grava. Dentro del tanque se enterraron las tuberías de PVC y polietileno, cada una por separado, a una profundidad de 21cm (a clave). Las características de las tuberías utilizadas en los ensayos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Características de las Tuberías Enterradas

Material	Diámetro interno (mm)	Diámetro externo (mm)	Longitud (cm)
PVC	100	110	48
Polietileno	76	90	50

El equipo GPR empleado dispone de una antena monoestática de 1.5 GHz de frecuencia y una unidad de control, modelo GSSI SIR 3000. Los parámetros con los que se realizaron los muestreos fueron constantes a lo largo de los ensayos. Antes de comenzar con la exploración en laboratorio cabe señalar que se acotó la zona de prospección,

empleando un área cuadrada de 1.00m×1.00m. Sobre esta área, se definieron el origen y el sistema de coordenadas a utilizar. A continuación se trazaron líneas paralelas al eje x, así como también al eje y, separadas entre sí 0.10m, formando una malla de 22 perfiles, como se muestra en la Figura 2. A continuación se describen los pasos que fueron llevados a cabo para la realización del presente trabajo:

Primer paso. La captura de datos (radargramas o imágenes), consistió en el deslizamiento de la antena sobre la superficie mallada; esto se hizo para cada una de las tuberías y una adicional de referencia (sin tubería). Es importante señalar que las mediciones se realizaron en sentido transversal y longitudinal a la tubería como lo indica la Figura 2.b.

Segundo paso. Una vez obtenidos los radargramas para cada configuración, con ayuda del programa MatLab, se desarrolló una herramienta que permitió el redimensionamiento de las imágenes de GPR. Esto se logró tomando las posiciones X, Y en el tiempo para hacer una redistribución de datos y eliminar los espacios en los que es nulo el desplazamiento de la antena. Este redimensionamiento pretende facilitar el contraste entre las imágenes de referencia y las imágenes con tubería obtenidas. Siendo en este trabajo todas las imágenes redimensionadas (en distancia) a 1000mm.

El tercer paso es la aplicación del pre-procesado de imágenes de GPR, planteado por Ayala-Cabrera (2013) y que fue llamado carrera de agentes. El algoritmo carrera de agentes está basado en la teoría de juegos y en él se usa el paradigma multi-agente. El input de este algoritmo, es el radargrama resultante de la prospección GPR, que consiste en

una matriz de tamaño $m \times n$. Las n trazas generadas en la prospección con GPR son empleadas en este trabajo como pistas paralelas que recorrerán los n agentes. La carrera es una prueba de resistencia entre los agentes, siendo el premio para cada agente de un movimiento por cada esfuerzo realizado. Los esfuerzos se encuentran basados en los valores de amplitud de onda de cada columna de la matriz (radargrama). La carrera de los agentes está comprendida por dos fases: a) calentamiento y b) competición. La carrera comprende un tiempo total $t = tw + tr = m$, siendo tw el tiempo de calentamiento y tr el tiempo de competición. Los desplazamientos de los agentes en tr , son condicionados por el cambio de tendencia de la amplitud de onda de la traza que recorren. La carrera termina cuando se cumpla el tiempo t y el agente ganador es el que

obtiene mayor desplazamiento en este tiempo. El output (output1) de este proceso será una matriz de tamaño $m1 \times n$, donde $m1$ = número máximo de desplazamientos. Las columnas de esta matriz, describen el movimiento de los agentes en relación a la competición. En este trabajo, llamaremos a los movimientos obtenidos por los agentes como líneas de tiempo. En cada línea de tiempo, se ordenará de mayor a menor el tiempo obtenido en la competición por cada agente. Siendo numerados desde 1 consecutivamente los valores de tiempo ordenados y dándole la misma numeración a tiempos iguales. Estas líneas de tiempo serán posteriormente normalizadas, de lo cual se obtendrá el output2, que será la matriz que emplearemos en este documento. El resumen del proceso, se presenta en la Figura 3.

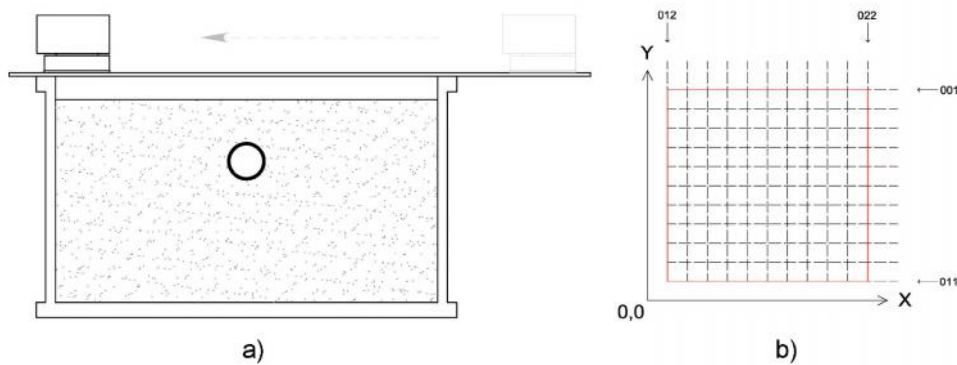


Figura 2. Configuración de los ensayos. a) Tanque, b) Malla.

Finalmente, de las matrices obtenidas de este último proceso, se toman las correspondientes a cada perfil de PVC y de polietileno y son contrastadas con sus respectivos perfiles de referencia. Obteniendo de esta manera la diferencia entre ellas, permitiendo detectar patrones que indiquen la presencia de tuberías. Lo mismo se hace para las matrices en

bruto redimensionadas, con el fin de mostrar que las imágenes tratadas arrojan mayor información al momento de hacer la resta de imágenes, y nos permiten obtener una visualización más clara que facilitan el proceso de análisis e interpretación.

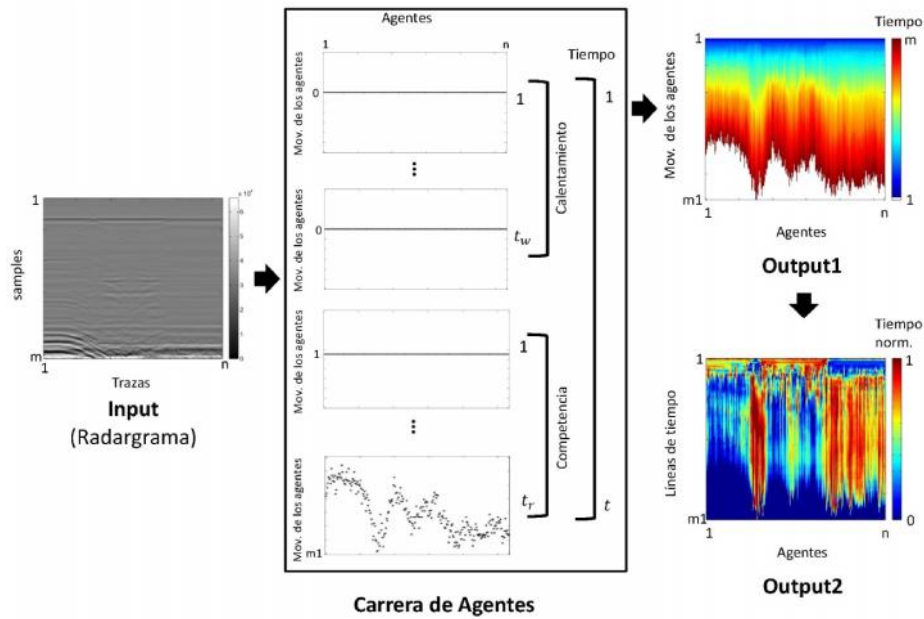


Figura 3. Esquema del algoritmo de carreras de agentes.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados más representativos de los ensayos realizados.

Las imágenes presentadas a continuación están ordenadas de la siguiente manera: 1 (a, b y c) corresponden al perfil 004, 2 (a, b, y c) al perfil 005 y 3 (a, b y c) al perfil 006, en sentido horizontal. Para los perfiles verticales 4 (a, b y c), 5 (a, b y c) y 6 (a, b, c) a los perfiles 016, 017 y 018 del sentido vertical, en cuanto a), b) y c) son los diferentes perfiles mostrados, es decir, para a) perfiles de referencia con los cuales se hace la resta de b), donde b) son los perfiles de PVC o polietileno a comparar y, finalmente, c) es el resultado de esta comparación. Cabe decir que, en las imágenes presentes, el eje Y está definido por los samples (0 a 512) y el eje X es la dimensión del tanque (1.00m). Las imágenes resultantes de los ensayos realizados en el laboratorio de los perfiles horizontales y verticales, se presentan en la Figura 4 y la Figura 5 para PVC, y en la Figura 6 y la Figura 7 para PE.

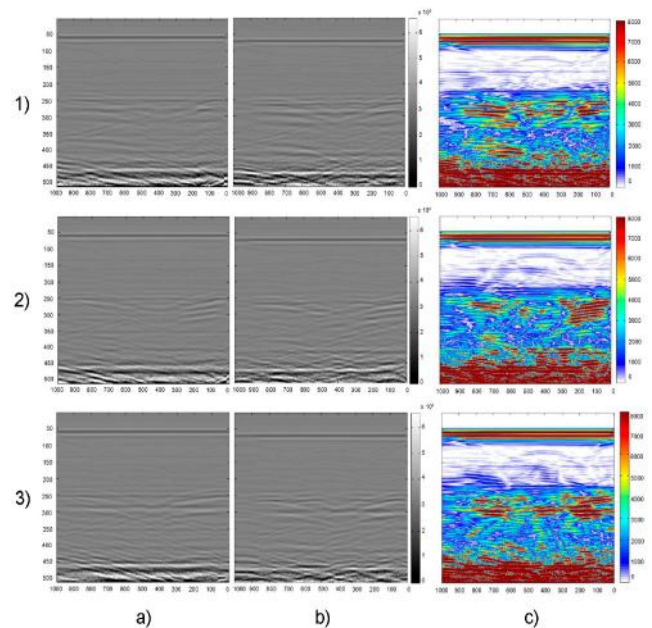


Figura 4. Perfiles horizontales de tuberías PVC.

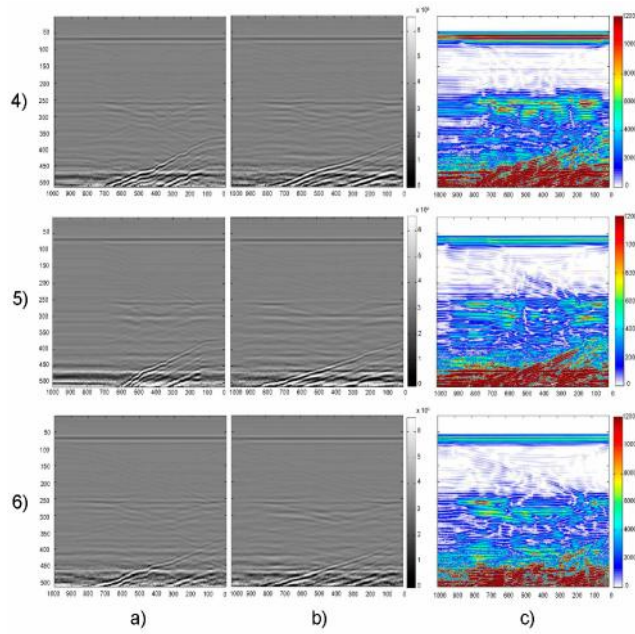


Figura 5. Perfiles verticales de tuberías PVC.

En sentido horizontal, presentamos para PVC, el perfil 004, que corresponde a una zona próxima a la tubería, el perfil 005, pasa exactamente por el extremo de la tubería y finalmente el perfil 006 que corta sobre la tubería. Para el sentido vertical, se muestran aquellos perfiles que pasan sobre la tubería cortándola a lo largo, tal es el caso del perfil 017, y dos de los más próximos a ella, que son 016 y 018. De la misma manera, para polietileno, se tomaron los mismos perfiles en el sentido horizontal y vertical. Para su comparación posterior entre los dos tipos de materiales.

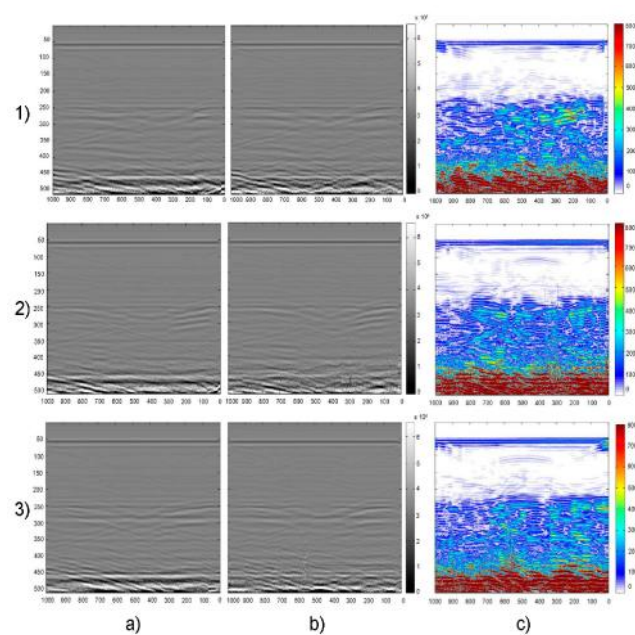


Figura 6. Perfiles horizontales de tuberías PE.

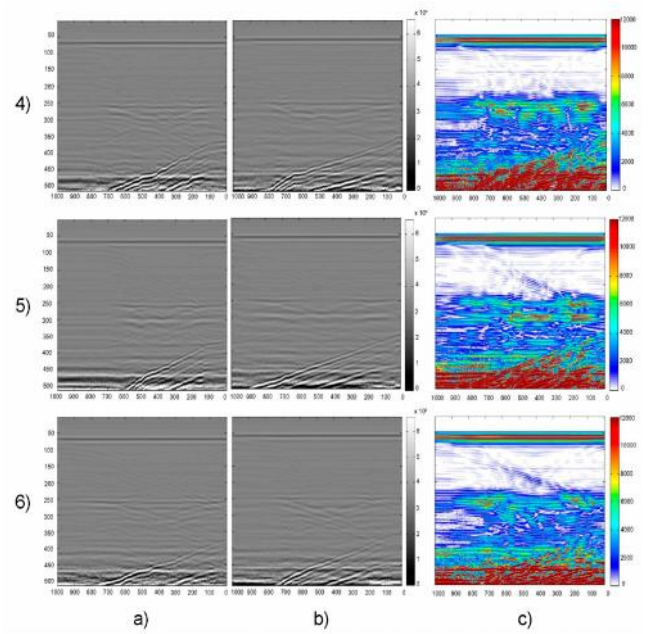


Figura 7. Perfiles verticales de tuberías PE.

Por otra parte también se muestran las imágenes de los perfiles pre-procesadas, para el sentido horizontal y vertical. En este caso se muestran en la Figura 8 y la Figura 9 los perfiles de PVC, y en la Figura 10 y la Figura 11 los perfiles de polietileno.

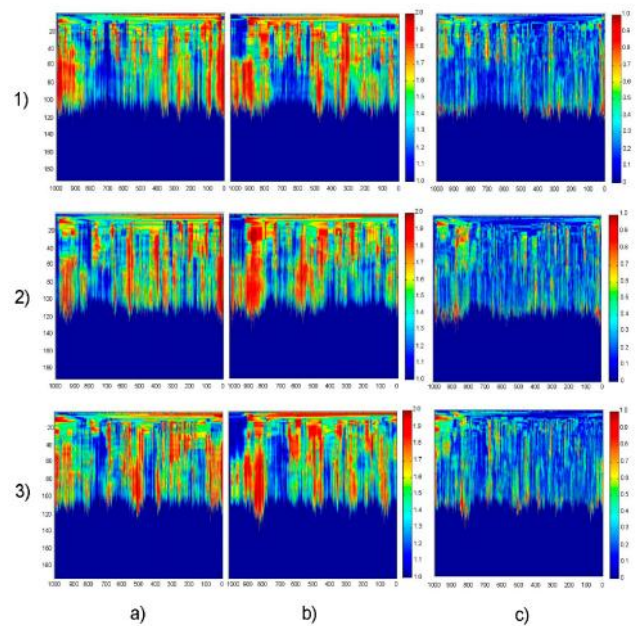


Figura 8. Perfiles horizontales pre-procesados de tuberías PVC.

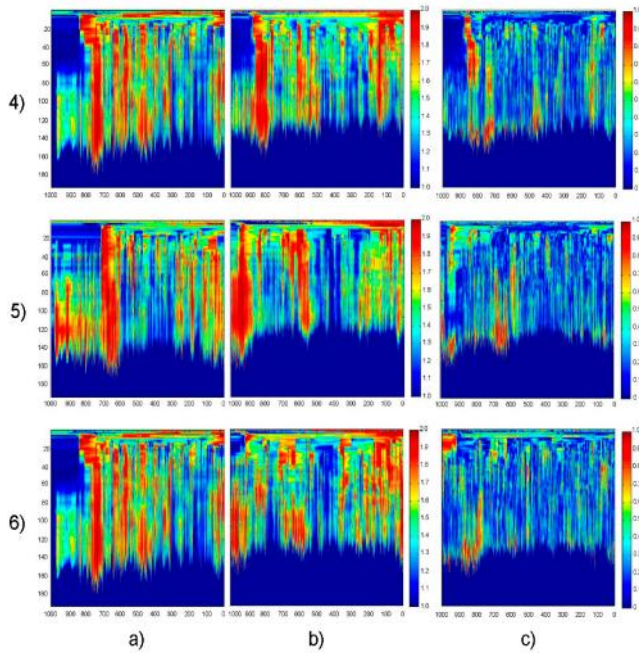


Figura 9. Perfiles verticales pre-procesados de tuberías PVC.

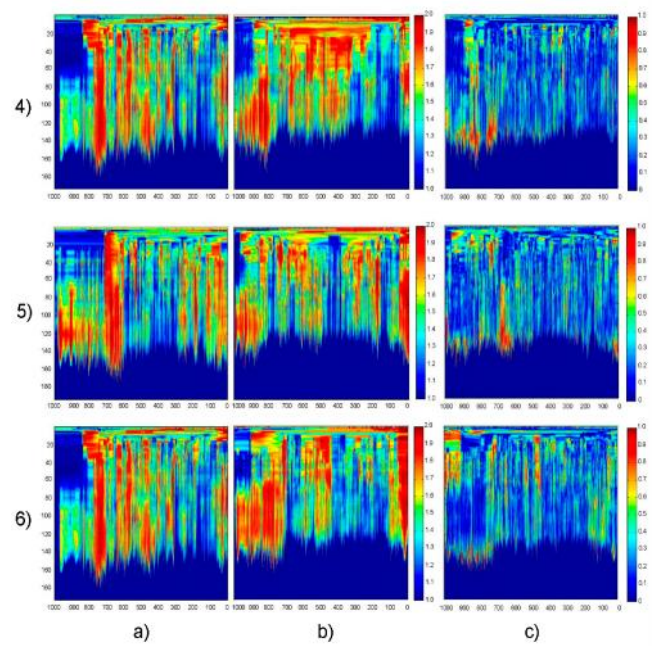


Figura 11. Perfiles verticales pre-procesados de tuberías PE.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La interpretación de las anomalías que podemos encontrar en las imágenes es sumamente difícil de interpretar de no contarse con gran experiencia en el manejo de las mismas. Es por ello que surge la necesidad de aplicar técnicas de procesamiento de imágenes y desarrollar herramientas que nos permitan procesarlas. Esto con el objetivo de facilitar la identificación de patrones que indiquen la presencia de aquellos objetos de interés, en nuestro caso las tuberías plásticas. En esta sección se plantea el análisis de las imágenes en bruto y su posterior tratamiento así como interpretación de imágenes pre-procesadas, para la localización de tuberías plásticas, con la identificación en las imágenes de patrones que nos lleven a la localización de las tuberías.

Análisis de imágenes en bruto

Para el caso de las imágenes en bruto, analizaremos primeramente las imágenes horizontales de PVC (Figura 4). En la Figura 4.1.b, podemos notar cómo se demarca muy débilmente una hipérbola, ente 0.3 y 0.5m. Esto se debe a que a este perfil no corta la tubería directamente (el corte trasversal es muy próximo), y el GPR detecto su presencia. Por otra parte en la Figura 4 perfil 2.b y 3.b podemos apreciar más fácilmente y con mayor claridad la

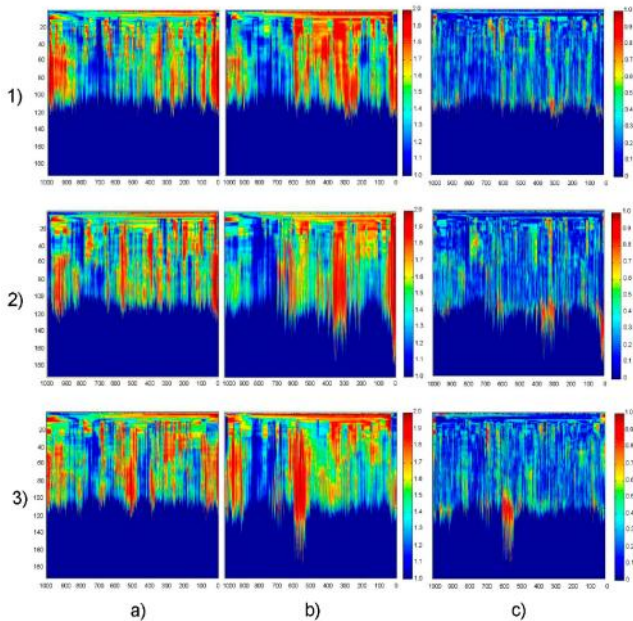


Figura 10. Perfiles horizontales pre-procesados de tuberías PE.

hipérbola, ya que en estos dos casos, principalmente en la Figura 4.3.b, el perfil corta la tubería directamente. Sin embargo, estas imágenes en bruto presentan una considerable dificultad al interpretarse, esto a causa de la baja amplitud de onda de estos materiales, que no favorecen la delimitación clara de la hipérbola característica de la tubería. Sin embargo, cuando contrastamos las imágenes en bruto del perfil de referencia sin tubería (4.1.a, 4.2.a y 4.3.a) con el perfil de PVC (4.1.b, 4.2.b y 4.3.b) y obtenemos el contraste (4.1.c, 4.2.c y 4.3.c), se puede apreciar una mejora.

Si observamos con detenimiento el perfil 1.c de la Figura 4, podemos ver la delimitación de 2 hipérbolas en lugar de una, entre 0.20 y 0.5m, pero si observamos la Figura 4.2.c y 4.3.c notamos las hipérbolas más claramente delimitadas. Queda claro que el contraste entre los radargramas en bruto favorece la visualización de ciertas características del espacio estudiado.

Ahora bien, para los perfiles de PVC en sentido vertical, de la Figura 5, en cuanto a las imágenes en bruto, podemos destacar que entre 0.3 y 0.6m en el eje X, y entre 100 y 150 samples del eje Y, para la Figura 5.1.b se demarca una línea casi horizontal muy tenue. Siendo complejo para esta imagen interpretar la localización de la tubería. En la Figura 5.2.b y la Figura 5.3.b, a la misma altura en Y, y a la misma distancia en X, se demarca una línea que no es totalmente horizontal si no que presentan cierta deformación. En estas imágenes la localización de la tubería es compleja, teniendo en cuenta que corresponden a las imágenes de los cortes longitudinales de la tubería. Por otra parte contamos también con los perfiles de la diferencia ente perfil sin tubería y perfil de PVC longitudinales, en la Figura 5.1.c. El resultado de la resta entre los perfiles no aporta información certera de que pueda existir una tubería enterrada. Sin embargo en el caso de la Figura 5.2.c y la Figura 5.3.c, se encuentran características que indican la presencia de la tubería adicionada. Para la Figura 5.2.c, se observa que se demarca una línea, entre 100 y 150 samples y 0.5m, esta línea va haciéndose más delgada al centro de la imagen y en las extremidades más gruesa, así mismo para la Figura 5.3.c se observan dos líneas. Ambas se definen como hipérbolas, siendo la inferior invertida. Esto nos indica que entre estos dos perfiles se encuentra la tubería. Pudiendo ser que uno de estos perfiles corte la tubería de manera directa y el otro pertenezca a un corte cercano.

En el caso de las tuberías de polietileno presentes en la Figura 6 y la Figura 7, se puede destacar que en

6.1.b, 6.2.b y 6.3.b se localizan las hipérbolas. Para la Figura 6.1.2 se nota que la hipérbola se demarca muy poco ya que en este perfil no se pasa sobre la tubería, simplemente se está muy próximo a ella. En la Figura 6.2.b y la Figura 6.3.b, estas hipérbolas son demarcadas claramente, debido a que estos perfiles cortan directamente la tubería. Esto se puede notar con mucha mayor claridad en el contraste entre los perfiles, imágenes 6.1.c, 6.2.c y 6.3.c. Para los perfiles en sentido vertical correspondientes a la Figura 7, la imagen 7.1.b y 7.3.b, no presentan características de relevancia. Siendo observada en la imagen 7.2.b una línea cóncava entre 0.3 y 0.6m, que podemos relacionar con la tubería de Polietileno.

Análisis de imágenes pre-procesadas.

Partiendo de las imágenes en bruto, se obtienen las imágenes pre-procesadas. Estas imágenes son presentadas en las Figuras 8, 9, 10 y 11. En las imágenes pre-procesadas, se puede observar, para todos los casos, la claridad con la que se delinear los bordes de las paredes del tanque. Siendo esto algo que no era fácilmente apreciable en las imágenes en bruto. Para la Figura 8 (4b, 5b, 6b) y la Figura 10 (4b, 5b, 6b), podemos observar también una pequeña elipse al centro de las imágenes, entre 0.5 y 0.7m, en unas mas demarcadas que en otras. En este punto es importante señalar que los datos de interés presentan valores muy bajos, obtenidos de la proyección de estos materiales.

En el caso de la Figura 8.4.b, la elipse no es demarcada con tanta claridad como en las imágenes 8.5.b y 8.6.b. Lo cual indica, que la tubería no es atravesada por este perfil. En la Figura 10 (4b, 5b y 6b) que corresponde a los mismos perfiles transversales pero para polietileno, se presentan características similares. Se puede notar para 10.4.b que la elipse demarcada es muy pequeña y es difícil distinguirla debido a los valores tan cercanos a 0. Esto indica que probablemente el perfil se tomó muy cerca de la tubería. En el caso de 10.5.b y 10.6.b la elipse es más grande y un poco más clara, aunque es menos apreciable que las elipses que se encontraron en los perfiles de PVC.

En las imágenes verticales mostradas en la Figura 9 y la Figura 11, se nota la dificultad de localización de la tubería. Esto debido que las imágenes, pertenecen a cortes longitudinales y las características que se presentan no son como las descritas con anterioridad, donde se presenta una elipse. Para la Figura 9.5.b, se puede observar una

franja gruesa delineada entre 0.5 y 0.6m, que indica la tubería, al igual que para la Figura 11.5.b. En el caso de las imágenes 9.4.c y 11.6.c, que corresponden a las restas podemos decir que se denota con mayor claridad la franja característica de la tubería. Es importante señalar que para la mejor interpretación de las imágenes mostradas, la escala de color puede ser modificada, para el mejor análisis de las mismas.

En las imágenes pre-procesadas, se observó que las mismas facilitan la interpretación, siendo menos compleja la identificación de patrones que permitan la localización de la tubería.

De la comparación de las imágenes pre-procesadas, los resultados obtenidos, son presentados, como modelos 3D, en la Figura 12 y la Figura 13, en cortes transversales de las tuberías de PVC y polietileno, respectivamente.

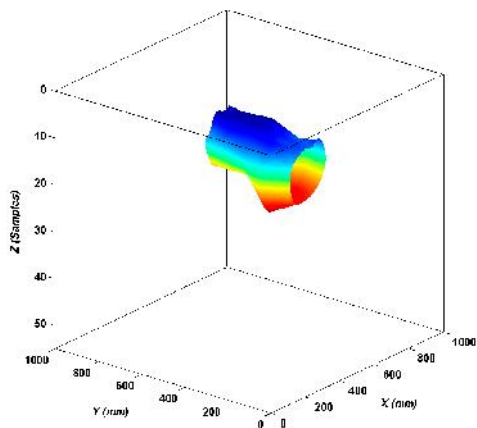


Figura 12. Resultados de la comparación para la tubería de PVC, en imágenes pre-procesadas.

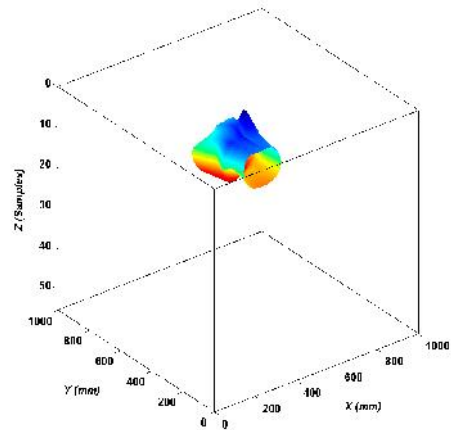


Figura 13. Resultados de la comparación para la tubería de polietileno en imágenes pre-procesadas.

CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó la posibilidad de obtener imágenes de GPR más sencillas de interpretar, aplicando herramientas ya desarrolladas. Este trabajo busca facilitar a personal con poca experiencia en el manejo del GPR y sus datos, el reconocimiento de patrones que faciliten la localización de tuberías enterradas., principalmente las tuberías plásticas.

De los resultados obtenidos del desarrollo de este trabajo, se afirma que las imágenes del GPR sin ningún procesamiento presentan una dificultad de interpretación considerable, principalmente para operadores con poca experiencia. Sin embargo, podemos deducir que la aplicación del sistema de restas planteado entre perfiles de referencia y los perfiles de PVC y PE ha sido satisfactorio, ya que permite extraer suficiente información con la cual es fácil la localización de las tuberías, principalmente de las de PVC, que se demarcaban mejor en la diferencia de los radargramas.

La aplicación de este sistema a los radargramas en bruto de las tuberías plásticas, permite que personal sin formación especializada, sea capaz de interpretar los datos, logrando resultados confiables, que nos arrojan un resultado objetivo. Cabe mencionar que el proceso da resultados fiables y es un proceso sencillo de aplicar.

Con este trabajo se pretende desarrollar a futuro una herramienta más compleja y mejor desarrollada que permita el reconocimiento de patrones (como las elipses) automáticamente, para la detección de anomalías en los sistemas de abastecimiento

facilitando la gestión de los mismos por medio de métodos no-destructivos como el GPR.

BIBLIOGRAFIA

Tavera, M. (2008). Aplicación de Georadar para la Mejora del Rendimiento de una Red Hídrica, Tesis de Máster, Universitat Politècnica de València, Valencia, España.

Shoham J., Leyton-Brown K. (2009). Multiagent Systems: Algorithmic, Game-theoretic and Logical Foundations, Cambridge University Press.

Ayala-Cabrera, D., Izquierdo, J., Montalvo, I., Pérez-García, R. (2013). “Water supply System Component Evaluation from GPR Radargrams Using a Multi-Agent Approach”, Journal Mathematical and Computer Modelling 57 (7-8), pp. 1927–1932.

Ayala-Cabrera, D., Pérez-García, R., Izquierdo, J., Herrera, M. (2011). “Análisis de Datos de GPR para la Visualización de Tuberías de Sistemas de Abastecimiento de Agua”. En: VII Seminario Euro-Latinoamericano de Sistemas de Ingeniería (SELASI), Valencia, España.