

Beneficios de la adquisición de cartografía del subsuelo para el catastro de redes subterráneas. Análisis económico para el catastro de redes de servicios públicos en zonas urbanas: método no invasivo

Benefits of the acquisition of subsurface's mapping for the land registry of underground networks. Economic analysis for the land registry of public-services systems at urban areas: Non-invasive method

Édgar Lozano Espinosa¹ Hasleidy Gordillo Sánchez² Ángela Mayerli Segura Novoa³

Para citar este artículo: Lozano-Espinoza, E., Gordillo-Sanchez, H. & Segura-Novoa, A.M. (2017) Beneficios de la adquisición de cartografía del subsuelo para el catastro de redes subterráneas. Análisis económico para el catastro de redes de servicios públicos en zonas urbanas: método no invasivo. *Revista de Topografía Azimut*, (8), 63-79.

Recibido: 19-abril -2017 / **Aceptado:** 13-noviembre-2017

Resumen

En el campo de los proyectos de ingeniería, es frecuente encontrar que la información referente al catastro de redes y estructuras subterráneas existentes, es limitada. La presente investigación trata sobre el uso del equipo *georradar*, para la generación de cartografía del subsuelo asociada a topografía convencional, para ser utilizada principalmente como información preliminar en los trabajos de consultoría, como la inserción, mantenimiento y modificación de redes subterráneas, mejoramiento de malla vial, y en general toda actividad en el campo de ingeniería que tenga inferencia sobre el subsuelo. El desarrollo de este trabajo se basó en la observación por medio de un estudio bibliográfico de los antecedentes, el estado de arte y el mercado relacionado

con el empleo de esta tecnología; en la segunda fase, se examinaron las principales problemáticas desencadenadas producto del desconocimiento de infraestructuras presentes en el subsuelo, en la ejecución de este tipo de proyectos; posteriormente se realizaron estudios cuantitativos, que sirvieron de eje para un estudio financiero y económico. Esta investigación, en general, nos permite dimensionar la importancia de la adquisición de información previa sobre el subsuelo, dado que esta permite evaluar los posibles riesgos técnicos y económicos, a los que se enfrenta el inversionista cuando se emprende un proyecto.

Palabras clave: catastro, económico, estructura, financiero, Georadar, infraestructura, subsuelo, presupuesto, obra.

- 1 Gestor de Obras Civiles y Construcciones, administrador de empresas, especialista en Administración de Empresas. Magíster en Ingeniería Civil. Profesor Asistente de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital. Bogotá, Colombia. Autor correspondencia: edgarlozanoe@gmail.com..
- 2 Ingeniera topográfica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. hgordillos@correo.udistrital.edu.co
- 3 Ingeniera topográfica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. amseguran@correo.udistrital.edu.co.

Abstract

In the field of engineering projects, it's commonly find that the information about land registry of existing underground networks and structures, is limited. This investigation, such as, insertion, maintenance and modification of underground networks, improving streets, highways, and generally, any activity in the field of engineering that has inference on the subsurface. The development of this work was based on observation through a bibliographic study of background, state-of-the art, and the related markets to the use of this technology; in the second phase, the main problems unleashed to a lack of awareness of current

infrastructure in the subsurface were reviewed, in implementing of this kind of projects; subsequently were made quantitative studies, which eventually served at the center for the financial and economic study. This research allows us sizing the importance of the acquisition of prior information about the subsurface, given the fact that this allows evaluate possible technical and economic risks, to which the investor is faced when the project is undertaking.

Palabras clave: land registry, economic, structure, financial, Georadar, infrastructure, subsurface, budget, work.

INTRODUCCIÓN

La confirmación de la ubicación de estructuras presentes en el subsuelo proporciona un punto de inicio preciso para los trabajos de excavación y exploración usuales en los proyectos de ingeniería, de esta manera se puede establecer un cronograma de obra ajustado a la realidad. Sin embargo, las fuentes de información preliminar de las redes de servicios subterráneas existentes carecen de veracidad, esto se debe a la falta de una cultura de registro de proyectos anteriores, ante las autoridades encargadas y la imposibilidad de actualizar diariamente el ingreso de nuevas acometidas de servicios públicos a los planos récord. Esta inexactitud en la información base, causa que el diseño de la mayoría de proyectos de obra civil deba ser reconsiderado y re proyectado durante la fase de ejecución, desencadenando sobrecostos al presupuesto.

En general, este estudio busca identificar los beneficios del uso de la tecnología *georadar*, por medio de valoraciones económicas, y así determinar las ventajas de la planeación de obras sobre cartografía del subsuelo o catastros de redes generados con esta tecnología asociada a la topografía convencional. Dada esta situación, se tomó como caso de estudio un modelo de proyecto real, de un desarrollo urbanístico, con redes de servicios

básicos, y así se realizó una simulación presupuestal, para la instalación de diferentes tipos de tuberías con sus respectivos accesorios, según la normativa actual y las especificaciones técnicas en cuanto a materiales, dimensiones y longitudes, necesarias para dicho proyecto. Así mismo, se realizó un presupuesto final estimado, que supuso la intervención accidental de un metro (1 m) correspondiente a cada red de servicio y otro donde se adicionó el costo de un levantamiento topográfico subsuperficial realizado con tecnología georadar, para determinar las redes existentes y eliminar la posibilidad de intervención no proyectada.

Entorno de estudio

La modificación de las redes de servicios públicos subterráneas en el área de intervención de un proyecto, generalmente se presenta cuando aumenta la demanda de los mismos. En esta investigación, se estudia un proyecto de vinculación de redes de servicio, a una zona urbana donde se presenta un cambio de uso de suelo de industrial a residencial, estas intervenciones por lo general son las que presentan mayor posibilidad de daño a redes existentes, por lo que vale la pena realizar un análisis de tipo económico que destaque los posibles sobrecostos en dichas obras. Las intervenciones no previstas, como las rupturas a tuberías, están

relacionadas con la existencia de conexiones ilegales, cambios no registrados o pérdida de registros técnicos; así se presentan contratiempos difíciles de cuantificar e identificar, en el desarrollo de proyectos de esta índole.

Es usual que las redes de servicios públicos sean diseñadas según la normativa especificada para cada servicio, entre diseñadores distintos y a profundidades diferentes; lo cual busca desde la norma evitar intersecciones desde diseño, no obstante existen redes con especificaciones muy similares, y se encuentra que, por lo general, cada diseñador realiza su proyección sin tener en cuenta las condiciones de diseño de las demás redes, dando espacio a la posibilidad de intersecciones no deseadas, esto para casos de proyectos nuevos. La situación empeora cuando se trata de proyectos de empalme, pues por general, como se ha comentado en este artículo, no se tiene cartografía actualizada y confiable.

Casos como este son evidenciados en diferentes instituciones dedicadas al desarrollo urbano, ejemplo de esto es lo expresado por el exdirector del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) William Camargo, en entrevista a *El Tiempo* (2015):

Hay una debilidad en el catastro de redes que tiene la ciudad, es un problema habitual en los proyectos del IDU; esa información nos la entregan las empresas, y nosotros hacemos algunos apiques y sondeos, pero muchas de esas redes ni siquiera están en el corredor, o están en el peor lugar. Cuando se llega a obra y se interviene centímetro a centímetro, en excavaciones, ahí es donde aparecen.

Las consecuencias en las demoras en las obras son variadas, pueden ser de naturaleza social, ambiental y económica; generalmente las más fáciles de cuantificar son las económicas, puesto que se evidencian en los montos finales invertidos para su ejecución. En la figura 1 se evidencian las intersecciones entre redes, inevitables debido al poco espacio disponible en los corredores.

Todas las intervenciones en redes de vieja data generan procesos de ajuste en los diseños planteados, lo que hace necesario que el residente a cargo deba estar un paso adelante en los procesos de excavación, esto apoyado en la información suministrada por la topografía, quien se encarga principalmente de generar las mejores alternativas en cuanto a manejo espacial se refiere.

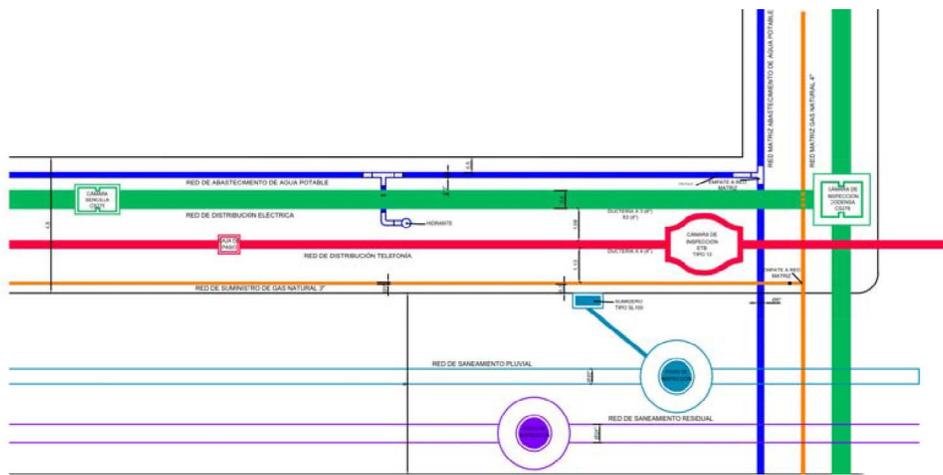


Figura 1. Esquema general de instalación de redes en el proyecto

ANTECEDENTES

Ejecución de obras civiles

La falla de cualquier elemento o miembro estructural puede ocasionar pérdidas o retrasos importantes en el avance de los proyectos; por esta razón, es imprescindible incluir tecnología que permita la simplificación de procesos y la adquisición de información relevante sobre el área de intervención. Por lo general, la cartografía subterránea es generada a partir de sondeos en el subsuelo, que omiten las estructuras que no tienen alguna evidencia superficial de su existencia.

Para evitar los posibles daños de sondeos por medio de apiques, es necesario el uso de tecnología no invasiva que, en palabras simples, permite realizar una radiografía del subsuelo, que apoyada en la topografía convencional, facilita el registro de dichas estructuras en cartografía especializada. Es también pertinente la adquisición de información previa sobre las redes que se encuentran en el subsuelo, así es posible evaluar los riesgos técnicos y económicos a los que se enfrenta el inversionista, cuando se emprende un proyecto de esta clase. Estos riesgos pueden ser variados; entre los técnicos, se pueden mencionar las decisiones inapropiadas frente a maquinaria seleccionada, como cuando se quiere demoler una capa asfáltica y estima que esta posee menor espesor al documentado, entonces la maquinaria inicialmente contratada se vuelve obsoleta y se debe concertar otro equipo que supla la función contemplada. Otro riesgo técnico que subyace del desconocimiento es la intervención no deseada sobre una red, es decir, su fractura; en la red de gas, por ejemplo, los riesgos son altos debido al peligro de ignición e intoxicación, para trabajadores y habitantes del área de afectación. Las redes, como la telefónica y eléctrica, pueden ser removidas y dejar sin servicio a miles de habitantes incluso de zonas retiradas. Otra consecuencia

son los problemas de salubridad producto de la ruptura de redes sanitarias; por ejemplo, las tuberías matrices de agua potable pueden alimentar fácilmente a 50.000 personas, una fractura acarrea pérdida del recurso y se puede dejar sin servicio a miles de usuarios mientras se realizan las reparaciones.

Todos estos riesgos técnicos se contemplan igualmente como consecuencias económicas, pues el contratista debe efectuar todas las labores que le permitan cumplir la labor asignada. De esta manera, se hace imprescindible, para el contratista y el contratista tener a su alcance la mayor cantidad de información posible para establecer la verdadera inversión económica y extensión temporal de un proyecto.

Se ha tomado como referente la ciudad de Bogotá, debido a los cambios importantes en su disposición desde su fundación. En este contexto, en la actualidad la renovación urbana es un proceso notable en la renovación de la capital. Se están movilizandolas industrias a las periferias y cambiando los usos del suelo, por consiguiente, es importante “recuperar espacio público y utilizar racionalmente las zonas residenciales de la ciudad” (Castillo, 2012). Conocer la infraestructura dispuesta en el subsuelo beneficia en diversos aspectos, pues a la hora de realizar intervenciones se pueden considerar las actividades de prevención necesarias para evitar su daño ¿Cuántas conexiones ilegales pueden existir en el subsuelo de las ciudades?; ¿cuántos cortes inesperados en los servicios públicos se presentan por dichas intervenciones?; ¿cuántos proyectos pueden volverse inviables al descubrir que uno u otro se cruza con la infraestructura existente? En el mejor de los casos, basta con una revisión del diseño, en otras ocasiones es necesario reparar, tanto la estructura como a los habitantes residentes en el sector intervenido, mediante indemnizaciones; de igual manera se pueden ocasionar tragedias de orden social y ambiental.

Hoy, existe la posibilidad de almacenar cambios a las redes, en sistemas de información geográfica que permiten visualizar e interactuar con la información de manera eficiente. Aunque las entidades exigen la entrega de la cartografía del subsuelo, se presenta un fallo grave en su interoperabilidad, ya que se plantea solamente la entrega de la red intervenida, sin tener en cuenta la ubicación de redes circundantes o de factores de interés sobre estas áreas.

Georradar

El *ground penetration radar* (GPR, por sus sigla en inglés) es un instrumento que emite ondas electromagnéticas que pasan a través del subsuelo y que se reflejan al encuentro de los diferentes medios en este. Dado que las ondas reflejadas tienen la información del medio que atraviesan su interpretación, es posible inferir las características del subsuelo y de los elementos que allí se encuentren. Por tanto, es una técnica no invasiva que utiliza ondas electromagnéticas para determinar superficies reflectoras en el interior de los medios (Annan y Davis, 1976; Caicedo, 2003; Pellicer, 2001; Pérez, 2001; Tavera, 2008). Básicamente se define como una técnica no invasiva, dado que evita la intervención del subsuelo para

su estudio, y que analiza la información procedente de la reflexión de ondas transmitidas, desde y hacia los equipos utilizados. El proceso consiste en la emisión de cortos impulsos electromagnéticos, entre 10 MHz - 2,5 GHz; a medida que la onda penetra el subsuelo, esta es reflejada, deflectada y absorbida por los materiales que pasa, los cuales poseen una conductividad electromagnética diferente; lo que a su vez genera una imagen en los radargramas, de tipologías diferentes para cada material (figuras 2a y 2b). También, el georradar analiza las características de las ondas, en especial la amplitud, para posteriormente realizar observaciones y determinar correspondencia entre materiales y tiempos de retorno de la señal (profundidad).

Fundamentos teóricos. Es un método de prospección geofísica basado en la emisión y propagación de ondas electromagnéticas en un medio, con la posterior recepción de las reflexiones que se producen en sus discontinuidades... “Estas son cambios bruscos de los parámetros electromagnéticos del subsuelo, es decir, de la conductividad, la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética” (Lorenzo y Hernández, 1995). A partir de estos tres parámetros se pueden establecer los rasgos eléctricos de los materiales, lo que

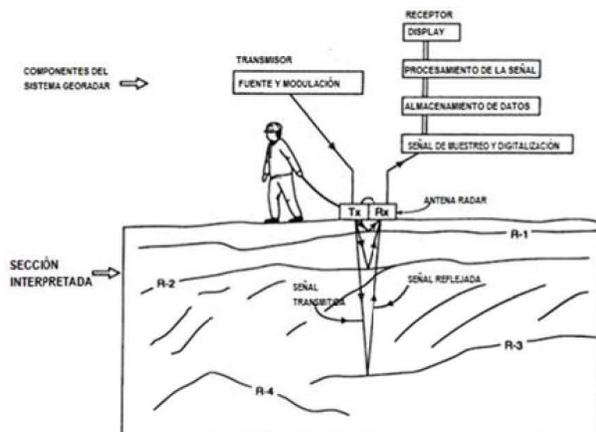


Figura 2a. Operación de un sistema GPR

Fuente: modificado de Díaz (2013).



Figura 2b. Radargramas

Fuente: Gepard (2009).

conduce a conocer el tipo de material dispuesto. Actualmente, el *software* tabula la información, y la compara con bases de datos proporcionadas por el fabricante, que relacionan la correspondencia de materiales; además, la velocidad de propagación, de las ondas electromagnéticas, depende de las características eléctricas del medio; con estos factores es posible determinar la profundidad del material evaluado.

Equipo. Un equipo georradar comprende básicamente los siguientes componentes: unidad central (sistema de control), antenas (emisora - receptora) y dispositivo de visualización.

El equipo consiste en un sistema de control (ordenador) conectado a unas antenas, que se desplazan sobre la superficie del medio que se desea analizar. Estas antenas son las encargadas de emitir energía hacia el interior del medio y de registrar las ondas que provienen de las reflexiones producidas en las discontinuidades interiores (Tavera, 2008, p. XX) (Boualem, 2008).

Para realizar este desplazamiento, son acoplados carros y cinturones, según sea el caso (véase tabla 1 y figura 3); algunos de los equipos vienen con un odómetro.



Figura 3. Georradar

Fuente: Ballester (2012).

Tabla 1. Antenas frecuencia vs. Profundidad

Frecuencia	Profundidad
050 Mhz	6 – 50 m
100 Mhz	4 – 15 m
300 Mhz	1 – 10 m
400 Mhz	0,5 – 4 m
500 Mhz	0,5 – 3,5 m
900 Mhz	0- 1 m
1,5 Ghz	< 0,5 m

Fuente: Díaz (2013).

Limitaciones del método. Es importante conocer las limitaciones del instrumento, pues no todos los subsuelos presentan condiciones óptimas de trabajo: “La resolución de este método es muy alta pero la penetración, sin embargo, está limitada por la atenuación de la señal y ésta depende fundamentalmente del material que conforme el suelo y de su contenido en agua” (Hernández, 2006, p. XX). Los suelos con alto contenido de humedad y/o saturados, presentan las peores condiciones de trabajo para el georradar; sin embargo, actualmente se han desarrollado correcciones ante esta situación. El posproceso de la información obtenida es de carácter variable: en parte porque las condiciones del subsuelo suelen ser particulares; así, este es similar a la observación de imágenes de radar, donde se hace necesario aplicar filtros específicos para mejorar la calidad de la información deseada. De esta manera, es necesario elegir un equipo que no requiera de un profesional experto en geofísica para la interpretación de datos.

METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DEL EQUIPO GEORRADAR

Por lo general, cuando se va a adquirir un equipo de una tecnología desconocida, se deben establecer criterios de selección que permitan adquirir la mejor opción. Dicha selección se hizo bajo los siguientes criterios:

- *Compañía de fabricación:* que la organización contara con reconocimiento y confiabilidad, capaz de dar garantía por su producto y que tuviera distribuidores en Colombia o pudiera traer el equipo al país.
- *Frecuencia:* que pudiera modularse o que funcionará con diferentes antenas (multifrecuencia).
- *Resistencia ambiental:* que cumpliera con los estándares de calidad y resistencia de equipos electrónicos en exteriores, iguales o mayores a IP65 (resistencia ambiental).
- *Versatilidad de usos:* que contara con un rango de aplicaciones y características físicas; que pudiera ejecutar diferentes tareas.

- *Otros:* que sus características facilitaran el uso óptimo y continuo del equipo, como equipo auxiliar de movilidad, monitor incorporado, duración de la batería.

Metodología del análisis financiero

Con el fin de estimar los beneficios que se obtienen al usar un equipo como el georradar, se divide en dos etapas el proceso de análisis financiero, en el caso de la instalación y daños probables a las redes, fue necesario apreciar el costo de instalación y reparación correspondiente, de esta manera, se realizó una revisión bibliográfica meticulosa, de todos los aspectos técnicos que se tienen en cuenta para planear, administrar y ejecutar proyectos de índole ingenieril, relacionados con la intervención a la infraestructura perteneciente y relacionada a los servicios de carácter público subterráneos. Así mismo, se establecieron las dimensiones del proyecto por medio de una tabla resumen, que presenta la actividad, cantidad y generalidades de la misma, como material de la tubería, diámetro de la misma, accesorios, cajas o pozos de inspección, y demoliciones. Para la red de gas, se establece solamente su reparación, ya que se tienen empresas dedicadas exclusivamente a este aspecto (tabla 2).

En general, el presupuesto valorativo detallado “es aquel donde se descompone cada concepto de obra y los precios de cada elemento que constituyen el precio unitario; se pueden estudiar y analizar, tanto desde el punto de vista de su rendimiento, desperdicio y costo” (Beltrán, 2012, p. XX). Este permite estimar de forma metodológica el costo y el tiempo que tiene cada actividad en el proyecto y su impacto en el desarrollo de este. Cada actividad puntual realizada se cuantifica a partir de un análisis de precios unitarios (APU); así, varios APU permiten cuantificar un capítulo, es decir, una fase del proyecto; de esta manera, un capítulo puede contener las excavaciones, y estas pueden estar divididas en varios tipos de excavaciones, que requieren de un análisis puntual por su carácter; así mismo varios capítulos

componen una actividad general, por ejemplo la instalación de la red de agua potable.

Finalmente se realizan resúmenes de obra, que permiten de una manera organizada observar los montos necesarios para cada etapa. A partir de análisis comparativos se evaluó el monto de salvamento, el cual presenta la diferencia que se puede obtener, tras la ejecución del proyecto, a partir de información recolectada por medio de levantamientos subsuperficiales, estimando el monto final del propósito y el posible sobre costo presentado en el daño de tubería de un metro en la misma, para el caso de este proyecto se establece la reparación de menor cuantía posible, partiendo del criterio de optimismo propio de cada proyecto (tabla 3).

En el caso del equipo GPR, se establecieron de las consideraciones financieras necesarias, para implementar esta tecnología en un levantamiento del subsuelo con características adecuadas, para generar un catastro de redes de la franja de estudio evaluada. Así, se realizó un APU, considerando como unidad de medida o producción, el día

de trabajo (8 horas); y dado que el rendimiento de equipo es de un kilómetro lineal por hora, se pudo establecer que “con un solo día de uso del equipo, era suficiente para levantar el total del área determinada”. El cálculo del área a cubrir será $250 \text{ m} \times 16 \text{ m} = 4.000 \text{ m}^2$; para ejecutar una buena cobertura se deben hacer recorridos cada 1,20 m. Tomando $16 \text{ m} / 1,20 \text{ m}$ se estarían haciendo 14 recorridos, en el cubrimiento del área de trabajo; cada recorrido de 250 m implicarían 3.500 m de recorrido total. Ya establecida la longitud por recorrer, a una velocidad de 1 km/h, se puede entender que la totalidad del área a intervenir sería estudiada en un tiempo cercano a medio día de trabajo; por seguridad y metodología de la labor, se consideró el día completo. Cuando se adquiere un equipamiento nuevo es necesario determinar el valor a cobrar por un día de uso del mismo, para que este tenga un retorno de capital a medida que este pierde su valor; es decir, se deprecia. En ese sentido, se tuvo en cuenta: depreciación del equipo, interés del capital invertido, y el valor de seguros e impuestos. En cuanto a localización, se estima una comisión de topografía., y que a su vez éste haría el control del equipo y levantamiento.

Tabla 2. Intervenciones a ejecutar en el proyecto seleccionado

Actividad	Cantidad	Generalidades
Ampliación de la cobertura de red de agua potable existente	230 m	Instalación de tubería de policloruro de vinilo (PVC) 6", instalación excavación a cielo abierto, creando una red de suministro perimetral sobre el andén existente. Instalación de hidrante según NS-027 EAAB.
Ampliación de la red de saneamiento (aguas residuales).	200 m	Instalación de tubería de tipo NVF (Novafort) 20", construcción de tres pozos de inspección, demolición de un pozo de inspección.
Ampliación de la red de alcantarillado pluvial.	100 m	Instalación de tubería de tipo NVF (Novafort) 24", construcción de dos pozos de inspección. Construcción de sumideros tipo SL100.
Subterranización de red eléctrica de media y baja tensión.	230 m	Instalación de tubería de tipo doble pared TDP longitud - 6 metros (3 ductos de 4" y 3 ductos de 6").
Subterranización de red de telefonía.	200 m	Instalación de tubería de tipo doble pared TDP Longitud - 6 metros (4 ductos de 4").

Tabla 3. Actividades para la reparación de redes de servicio público

Ítem	Descripción	Unid.	Cantidad
1.1	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE REPARACIÓN - RED DE AGUA POTABLE		
1.1.1	Adecuación para la reparación e instalación de unión de reparación y relleno provisional Incluye excavación de tipo manual para limpieza y corte del tramo a reparar (debe verificarse que este quede lo suficientemente liso). Además, suministro e instalación de 2 uniones de reparación de 6", tramo de tubería faltante de tipo hidrosello 6", mano de obra para la instalación, suministro de cloro granulado para desinfección y relleno con material proveniente de la excavación (L= 1,60 m × A= 0,60 m × Prof.=1,0 m)	Unid	1.0
2.1	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE REPARACIÓN - RED RESIDUAL		
2.1.1	Adecuación para la reparación e instalación de unión de reparación y relleno provisional Incluye excavación de tipo manual para limpieza y corte de tubería, suministro e instalación de accesorios (2 und. Unión campana - campana), tramo de acople de tubería Novafort 20" (1 m), relleno con material proveniente de la excavación (L=2,80 m × A= 0,9 m × Prof.= 0,80 m)	Global	1.0
3.1	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE REPARACIÓN - RED PLUVIAL		
3.1.1	Adecuación para la reparación e instalación de unión de reparación y relleno provisional Incluye excavación de tipo manual para limpieza y corte de tubería, suministro e instalación de accesorios (2 und. Unión campana - campana), tramo de acople de tubería Novafort 24" (1 m), relleno con material proveniente de la excavación (L= 2,80 m × A= 1,80 m × Prof.= 0,80 m)	Global	1.0
	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE REPARACIÓN - RED ELÉCTRICA		
4.1	Adecuación para la reparación e instalación de unión de reparación y relleno provisional	Global	1.0
4.1.1	Incluye excavación de tipo manual de limpieza para trabajo y corte de tubería, suministro e instalación de tubería de reparación tipo Reparaducto (1 metro (3 ductos 6" - 3 ductos 4")), relleno con material proveniente de la excavación (L= 1,20 m × A= 0,60 m × Prof. = 0,40 m)		
5.1	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE REPARACIÓN - RED DE TELEFONÍA		
5.1.1	Adecuación para la reparación e instalación de unión de reparación y relleno provisional Incluye excavación de tipo manual de limpieza para trabajo y corte de tubería, suministro e instalación de tubería de reparación tipo reparaducto (1 metro (4 ductos 4")), relleno con material proveniente de la excavación (L= 1,20 m × A= 0,40 m × Prof. = 0,40 m)	Global	1.0
6.1	PRESUPUESTO REPARACIÓN - RED DE SUMINISTRO GAS NATURAL		
6.1.1	Reparación gas natural 3" Cotización a empresa especialista en tratamiento de redes de suministro de gas natural.	Global	1.0

RESULTADOS

Construcción y reparación de redes

En esta fase se estudian los resúmenes de obra obtenidos a partir de los análisis económicos mencionados en el título anterior. Para empezar se presenta un ejemplo de resumen de obra (tabla 4) resultado de los correspondientes APU, para cada actividad. De esta manera se establece el valor

total del proyecto, en cuanto a la instalación. Esto se realiza para cada red, generando una tabla resumen que contiene los montos reflejados por resumen de obra realizado, para las redes a instalar mencionadas en la tabla 2 (véase tabla 5).

En cuanto a los costos indirectos, se tomó la constante del 10 %, para administración, imprevisos y utilidad, siguiendo un acercamiento empírico, puesto que en la realidad existen proyectos que contienen una complejidad mayor.

Tabla 4. Resumen de obra. Red de agua potable

No.	DESCRIPCIÓN	UN	CANT.	VR. UNT.	VR. TOTAL
1.1	PRELIMINARES				
1.1.1	LOCALIZACIÓN, TRAZADO Y REPLANTEO	día	6.00	\$ 304,589.22	\$ 1,827,535.29
1,1,2	SEÑALIZACIÓN	m	40.00	\$ 10,056.80	\$ 402,272.11
1.1.3	DESINSTALACIÓN ADOQUÍN	m2	138.00	\$ 1,270.96	\$ 175,392.08
1.1.4	EXCAVACIÓN DE MATERIAL	m3	186.30	\$ 17,135.27	\$ 3,192,300.47
1.2	CIMENTACIÓN E INSTALACIÓN				
1.2.1	CAMA DE APOYO	m3	14.21	\$ 21,720.16	\$ 308,730.29
1.2.2	INSTALACIÓN DE TUBERÍA 6"		39.00	\$ 451,146.09	\$ 17,594,697.53
		Unid			
1.2.1	ATRAQUE	m3	11.37	\$ 22,511.09	\$ 255,978.05
1.3	RELLENO Y ACABADO				
1.3.1	RELLENO INICIAL	m3	114.76	\$ 10,391.09	\$ 1,192,489.37
1.3.2	RELLENO FINAL	m3	59.62	\$ 31,928.14	\$ 1,903,427.96
1.3.3	ACABADO	m2	138.00	\$ 7,519.92	\$ 1,037,748.34
1.4	ACCESORIOS				
1.4.1	EMPATE	Und	2.00	\$ 1,893,534.04	\$ 3,787,068.08
1.4.2	INSTALACIÓN HIDRANTE	Und	1.00	\$ 3,501,421.99	\$ 3,501,421.99
1.5	PLANOS RECORD				
1.5.1	ELABORACIÓN Y ENTREGA DE PLANOS RECORD	Unid	1.00	\$ 47,604.35	\$ 47,604.35
	Costo directo				\$ 35,226,665.91
	Administración 10 %				\$ 3,522,666.59
	Imprevistos 10 %				\$ 3,522,666.59
	Utilidad 10 %				\$ 3,522,666.59
	Costo indirecto				\$ 10,567,999.77
	IVA 16% de utilidad				\$ 563,626.65
	TOTAL GENERAL				\$ 46,358,292.34

Fuente:

Tabla 5. Resumen financiero de la instalación de redes

	AGUA POTABLE	SANEAMIENTO RESIDUAL	SANEAMIENTO PLUVIAL	SUMINISTRO ELÉCTRICO	SUMINISTRO TELEFÓNICO	TOTAL GENERAL
Costo directo	\$ 35.226.665,91	\$ 101.126.856,3	\$ 66.022.876,28	\$ 69.358.115,66	\$ 28.758.222,27	\$ 300.492.736,4
Administración	\$ 3.522.666,59	\$ 10.112.685,6	\$ 6.602.287,63	\$ 6.935.811,57	\$ 2.875.822,23	\$ 30.049.273,6
Imprevistos	\$ 3.522.666,59	\$ 10.112.685,6	\$ 6.602.287,63	\$ 6.935.811,57	\$ 2.875.822,23	\$ 30.049.273,6
Utilidad	\$ 3.522.666,59	\$ 10.112.685,6	\$ 6.602.287,63	\$ 6.935.811,57	\$ 2.875.822,23	\$ 30.049.273,6
Costo indirecto	\$ 10.567.999,77	\$ 30.338.056,9	\$ 19.806.862,88	\$ 20.807.434,70	\$ 8.627.466,68	\$ 90.147.820,9
IVA 16 % de utilidad	\$ 563.626,65	\$ 1.618.029,7	\$ 1.056.366,02	\$ 1.109.729,85	\$ 460.131,56	\$ 4.807.883,78
TOTAL GENERAL	\$ 46.358.292,34	\$ 133.082.942,9	\$ 86.886.105,18	\$ 91.275.280,21	\$ 37.845.820,50	\$ 395.448.441,2

Fuente:

La reparación se contempló por metro lineal; para cada uno de los casos de las redes presentadas, se realizaron los respectivos APU, y se obtuvo el resumen de obra correspondiente para luego elaborar una tabla de resumen para estos montos (tablas 6 y 7). En la tabla 7, en la columna cantidad, se considera uno, ya que se está estableciendo hipotéticamente el daño sobre un metro de tubería, para todos los casos. Se destaca que en esta

investigación se planteó la menor cantidad de reparación posible, debido al enfoque de la investigación, pues esta busca reflejar la realidad de los proyectos y no exagerar las posibles complicaciones presentadas en los mismos. Por el contrario, se buscó minimizar este ítem para no construir una situación; sin embargo, es importante establecer que una maquinaria pesada para excavación fácilmente puede realizar daños de 3 a 6 metros en la red.

Tabla 6. Resumen discriminado, por servicios, hipotética reparación de un (1) metro

	AGUA POTABLE	SANEAMIENTO RESIDUAL	SANEAMIENTO PLUVIAL	SUMINISTRO ELÉCTRICO	SUMINISTRO TELEFÓNICO	TOTAL GENERAL
Costo directo	\$ 424.099,04	\$ 1.088.463,94	\$ 1.260.607,27	\$ 972.710,08	\$ 671.562,08	\$ 4.417.442,41
Administración	\$ 42.409,90	\$ 108.846,39	\$ 126.060,73	\$ 97.271,01	\$ 67.156,21	\$ 441.744,24
Imprevistos	\$ 42.409,90	\$ 108.846,39	\$ 126.060,73	\$ 97.271,01	\$ 67.156,21	\$ 441.744,24
Utilidad	\$ 42.409,90	\$ 108.846,39	\$ 126.060,73	\$ 97.271,01	\$ 67.156,21	\$ 441.744,24
Costo indirecto	\$ 127.229,71	\$ 326.539,18	\$ 378.182,18	\$ 291.813,03	\$ 201.468,63	\$ 1.325.232,73
IVA 16 % de utilidad	\$ 6.785,58	\$ 17.415,42	\$ 20.169,72	\$ 15.563,36	\$ 10.744,99	\$ 70.679,08
TOTAL GENERAL	\$ 558.114,33	\$ 1.432.418,54	\$ 1.658.959,17	\$ 1.280.086,47	\$ 883.775,70	\$ 5.813.354,22

Fuente:

Tabla 7. Montos totales invertidos en reparaciones puntuales

No.	DESCRIPCIÓN	UN	CANT.	VR. UNT.	VR. TOTAL
1.1	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE REPARACIÓN - RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	m	1.00	\$ 424,099.04	\$ 424,099.04
2.1	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE REPARACIÓN - RED DE SANEAMIENTO RESIDUAL	m	1.00	\$ 1,088,463.94	\$ 1,088,463.94
3.1	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE REPARACIÓN - RED DE SANEAMIENTO PLUVIAL	m	1.00	\$ 1,260,607.27	\$ 1,260,607.27
4.1	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE REPARACIÓN - RED DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	m	1.00	\$ 972,710.08	\$ 972,710.08
5.1	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE REPARACIÓN - RED DE TELEFONÍA	m	1.00	\$ 671,562.08	\$ 671,562.08
	Costo directo				\$ 4,417,442.42
	Administración 10%				\$ 441,744.24
	Imprevistos 10%				\$ 441,744.24
	Utilidad 10%				\$ 441,744.24
	Costo indirecto				\$ 1,325,232.73
	IVA 16 % de utilidad				\$ 70,679.08
	TOTAL GENERAL				\$ 5,813,354.23

Fuente:

El proyecto en su construcción total, y en lo que tiene que ver con canalizaciones de servicios, se calculó en un valor total de \$393'448.441,20 (tabla 5). Sí, se tiene en cuenta el valor total de las reparaciones, por unidad de reparación (metro lineal), dado en la tabla 7, contemplado en \$5'813.354,23; se observa que al calcular la relación:

$$\frac{(\text{Valor Construcción Total})}{(\text{Valor Reparaciones})} = \frac{\$5'813.354,23}{\$393'448.441,20} = 1,48 \%$$

Este valor sería el aumento del presupuesto, por el efecto de las reparaciones, y por la intervención indeseada de redes producto de su registro inadecuado o inexistente, en la cartografía suministrada para el desarrollo del proyecto.

Equipo georradar

Para calcular el costo de un levantamiento topográfico con georradar, para realizar catastro de redes

subterráneas, se deben establecer los criterios que permitan conocer el valor de uso (sin utilidad). Como se mencionó, es importante establecer tres parámetros: la depreciación del equipo, el interés del capital invertido, y los seguros e impuestos, para que a medida que el tiempo pase, el equipo, en palabras simples, se pague en su vida útil.

- *La depreciación del equipo:* Valor que pierde el equipo durante su vida útil (tabla 8).
- *Interés del capital invertido:* Aunque el equipo sea comprado de contado, deben considerarse los intereses de la inversión, ya que el dinero puede invertirse en otro negocio, que le produzca dividendos al propietario, dado como un costo de oportunidad (tabla 9).
- *Seguros e impuestos:* Las primas de seguros varían de acuerdo al riesgo que pueda correr el equipo, independiente de si está asegurado o no deben ser calculadas y se estiman en un 5,5 % sobre la inversión media anual (IMA). El impuesto sobre el bien dependerá de la legislación

Tabla 8. Depreciación estimada para el equipo GPR

CONCEPTO	UNID.	CANT.	Vr. UNITARIO	Vr. TOTAL.	OBSERVACIÓN
Valor inicial (P)	UN	1,00	\$ 49.127.428,00	\$ 49.127.428,00	Tomado de cotización a fecha de investigación
Vida útil (N)	AÑO	10,00			Consideración del fabricante
Valor salvamento (S)	GLB	1,00	\$ 4.912.742,80	\$ 4.912.742,80	Considerado 10 % de P
Depreciación anual (Da)	GLB	1,00	\$ 4.421.168,52	\$ 4.421.168,52	En una línea recta $D_a = (P-S)/N$
Estimación Uso Anual Equipo (e)	HORAS/ AÑO	2000,00			Aproximadamente 167 horas al mes
Depreciación horaria (Dh)	GLB	1,00	\$ 2.210,73	\$ 2.210,73	$D_h = (P-S)/E \times N$

Tabla 9. Interés del capital invertido

CONCEPTO	UND	CANT	Vr. UNITARIO	Vr. TOTAL	OBSERVACIÓN
Inversión media anual (IMA)	UND	1,00	\$ 29.230.819,66	\$ 29.230.819,66	$IMA = \frac{P(N+1) + S(N-1)}{2N}$
Tasa de interés vigente para el tipo de moneda a utilizar (%)	19 %				Tomado para el año 2015
Depreciación horaria (Dh)	GLB	1,00	\$ 2.210,73	\$ 2.210,73	
Interés del capital invertido (I)	GLB	1,00	\$ 2.512,22	\$ 2.512,22	$I = \frac{IMA \times \%i}{DH}$

vigente; para este proyecto se usó el índice de precios al productor (IPP) 2015, equivalente al 19 %, porcentaje que será aplicado al IMA; el costo de almacenaje que hace referencia al porcentaje de inactividad del equipo y se estima en un 1,50 % sobre el IMA. El resultado obtenido se divide entre la depreciación horaria (tabla 10).

Una vez conocidos los valores iniciales, se calcula un valor total horario, el cual es llevado a valor total diario, el cual arroja un valor total de \$97.019,21 (tabla 11). Ya conocido este valor, se le agregan otros correspondientes a la comisión de topografía, para determinar el valor total, incluido la georreferenciación, ya que esta es el complemento ideal y base para ser llevada a cartografía. Esta se realiza con una estación total, dado que se establece que una cuadra de 250 m de largo por 16 m de ancho puede ser levantada en un día de trabajo, con este equipo, determinando entonces que esta comisión, tiene un costo aproximado de \$615.512,33 (tabla 12).

Comparación entre el costo de reparación y el costo del uso del georradar

Una vez establecidos los montos por separado, se determinaron las comparaciones entre las dos metodologías de trabajo, es decir, una instalación de redes partiendo de cartografía deficiente, donde eventualmente se dan intervenciones indeseadas sobre las demás redes, y una donde se tiene un catastro totalmente actualizado producto de un levantamiento topográfico con el equipo georradar, eliminando la posibilidad de dichos contratiempos. De esta manera, se determinaron las diferencias expresadas en porcentaje, como en la tabla 13, se exhiben los incrementos por reparación, siendo en promedio un incremento del 1,585 %, sobre el monto invertido para la instalación; para el caso del levantamiento, se determinó un incremento del 0,960 % sobre el monto invertido para la instalación, esto teniendo en cuenta cada red como independiente, es decir mediante un levantamiento por red. En la realidad, un solo levantamiento

Tabla 10. Cálculo del valor de seguros e impuestos por hora para equipo GPR

CONCEPTO	UNIDAD	CANT	Vr. UNIT	Vr TOTAL	OBSERVACIÓN
Porcentaje promedio de seguro (Ps)	Porcentual	5,50%			Para el año 2015
Índice de precios del productor (IPP)	Porcentual	19,0%			Para el año 2015
Porcentaje de costo de almacenaje (Ca)	Porcentual	1,50%			Para el año 2015
Porcentaje costo de nacionalización (Cn)	Porcentual	30,0%			Para el año 2015
Valor seguros, impuestos y almacenaje (Vsia)	GLB	1,0%	\$ 7.404,44	\$ 7.404,44	

Tabla 11. Valor total, por día, del equipo GPR

CONCEPTO	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	OBSERVACIÓN
Depreciación horaria (Dh)	GLB	1,00	\$ 2.210,73	\$ 2.210,73	
Interés del capital invertido (I)	GLB	1,00	\$ 2.512,22	\$ 2.512,22	
Valor por seguros, impuestos almacenaje (Vsia)	GLB	1,00	\$ 7.404,44	\$ 7.404,44	
Valor total hora, equipo Georradar	GLB	1,00		\$ 12.127,39	Dh+I+Vsia
Valor total día, equipo Georradar	GLB	1,00		\$ 97.019,21	Valor hora*8

Tabla 12. Análisis de precios unitarios, día de equipo georradar, con comisión de topografía

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS EQUIPO GEORRADAR				
VALOR USO DEL EQUIPO GEORRADAR			FECHA	12-09-2015
CAPÍTULO: 1	ÍTEM No.1.1		UNIDAD:	DÍA
DESCRIPCIÓN ÍTEM:	EQUIPO GEORRADAR (PROPIO)			
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD	Vr. UNIT.	Vr. TOTAL
PINTURA	GL	0.06250	\$ 37,800.00	\$ 2,362.50
VALOR MATERIALES				\$ 2,362.50
EQUIPO Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	UN	RENDIMIENTO	Vr. UNIT.	Vr. TOTAL
HERRAMIENTA (2 % MANO DE OBRA)	GLOBAL	1.00000	\$ 5,178.22	\$ 5,178.22
GPR EASY LOCATOR	DÍA	1.00000	\$ 97,019.21	\$ 97,019.21
TRANSPORTE EQUIPO	DÍA	1.00000	\$ 60,000.00	\$ 60,000.00
ESTACIÓN TOTAL	DÍA	1.00000	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00
VALOR EQUIPO Y HERRAMIENTAS				\$212,197.43
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	Vr. DÍA+PREST.	RENDIMIENTO		Vr. TOTAL
TOPÓGRAFO	\$104,330.79	1.00000		\$ 104,330.79
CADENERO I	\$ 65,312.03	1.00000		\$ 65,312.03
AYUDANTE	\$ 44,634.14	2.00000		\$ 89,268.28
VALOR MANO DE OBRA				\$ 258,911.09
VALOR COSTO DIRECTO				\$ 473,471.02
A.I.U	%	30		\$ 142,041.31
VALOR TOTAL ÍTEM				\$ 615,512.33

Tabla 13. Resumen discriminado, por servicios, para comparación en dinero y porcentualmente, en cada red de servicios

DETALLE	AGUA POTABLE	SANEAMIENTO RESIDUAL	SANEAMIENTO PLUVIAL	SUMINISTRO ELÉCTRICO	SUMINISTRO TELEFÓNICO	TOTAL GENERAL
INSTALACIÓN	\$ 46.358.292,30	\$ 133.082.942,90	\$ 86.886.105,10	\$ 91.275.280,20	\$ 37.845.80,50	\$ 395.448.441,00
VALOR GPR	\$ 615.512,33	\$ 615.512,33	\$ 615.512,33	\$ 615.512,33	\$ 615.512,33	\$ 615.512,33
VALOR REPARACIÓN	\$ 558.114,33	\$ 1.432.418,54	\$ 1.658.959,17	\$ 1.280.086,47	\$ 883.775,70	\$ 5.813.354,22
INC. POR GEORADAR	1,328%	0,463%	0,708%	0,674%	1,626%	0,156%
INC. POR REPARACIÓN	1,204%	1,076%	1,909%	1,402%	2,335%	1,470%

sería suficiente para cubrir este ítem, con lo cual el porcentaje descendería al 0,156 %, puesto que el costo del levantamiento sería dividido en las cinco redes a instalar, es decir, para cada red el valor del levantamiento sería de \$ 123.102,47.

Estudiando cada red como independiente se puede notar que en el caso de la red de agua potable, es más costoso realizar un levantamiento con georradar, esto se debe principalmente a que en esta investigación se desprecia el valor, del recurso (agua potable) desperdiciado, dado que este varía, según las dimensiones de la tubería, y el tiempo de demora en el cierre de la válvula más cercana. Además cabe mencionar que no se tienen en cuenta las consecuencias económicas a terceros, producto de la suspensión del servicio público, entre estas, las pérdidas que se generan en el sector industrial, comercial y residencial, ni las consecuencias sociales y ambientales, como lo son desalojos, intoxicaciones, reubicaciones, etc. Es importante además resaltar que la reparación suele ser más costosa que el levantamiento con georradar, como se observa en la tabla 14, en el ítem (Georradar/Reparación); allí se puede apreciar también cuantas veces es más costosa la reparación frente al levantamiento; por ejemplo, para la red de saneamiento pluvial es 2,70 veces más costo hacer esa reparación mínima, que el levantamiento. Dado

que eventualmente este levantamiento se considere útil para cualquiera de las redes, en teoría su costo se divide en las 5 redes, de esta manera, serían 9,44 veces más costosas las reparaciones frente al levantamiento topográfico subterráneo con georradar.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados de esta investigación, se evidencia que es más costoso realizar reparaciones, que levantamientos topográficos subterráneos con tecnología georradar. Se habla que en comparación, son 9,44 veces más costosas las reparaciones que el costo del levantamiento. Es necesario destacar que se consideró la reparación mínima posible realizada sobre cada red, obviando las llevadas a cabo al gas natural, debido a que es lógico que cualquier intervención en esta será un sobre costo, dado que en el proyecto no se contempla la instalación de esta red. Las reparaciones examinadas correspondieron al 0,56 % de las redes instaladas; con esta cifra calculada se pudo determinar que el monto de salvamento que se presentaría en este proyecto, que sería de \$5'197.841,89 para el 0,56 % de reparación calculada, es decir, este sería proporcional al porcentaje calculado de reparación. Para un 10 % de reparación realizada este

Tabla 14. Comparación económica entre ejecuciones de reparaciones vs. levantamiento con la tecnología GPR

DETALLE	AGUA POTABLE	SANEAMIENTO RESIDUAL	SANEAMIENTO PLUVIAL	SUMINISTRO ELÉCTRICO	SUMINISTRO TELEFÓNICO	TOTAL GENERAL
VALOR REPARACIÓN	\$558.114,33	\$1.432.418,54	\$1.658.959,17	\$1.280.086,47	\$883.775,70	\$5.813.354,22
VALOR GEORRADAR	\$615.512,33	\$615.512,33	\$615.512,33	\$615.512,33	\$615.512,33	\$615.512,33
VALOR DIFERENCIA	(\$ 57.398,00)	\$ 816.906,21	\$ 1.043.446,84	\$ 664.574,14	\$ 268.263,37	\$ 5.197.841,89
GEORRADAR / REPARACIÓN	0,91	2,33	2,70	2,08	1,44	9,44

monto sería de \$ 92'818.605,18, es decir, cuanto mayor sea la probabilidad de daño, mayor será el valor de salvamento alcanzado.

Al evaluar este proyecto se logra establecer la realidad de proyectos de pequeña y mediana magnitud, siendo estos eventualmente los más frecuentes; los valores de resultado serán más alarmantes al evaluar daños más considerables, como el daño a una red matriz. Se definió esta premisa, para estudiar las situaciones más probables, dada la dificultad de establecer posibilidades de daño más ajustadas a la realidad. Aunque en este proyecto los montos evaluados en el ítem de reparación pueden ser cubiertos por el porcentaje de imprevistos; debe resaltarse que el porcentaje de estudio de reparación fue el mínimo posible, en caso contrario el porcentaje de imprevistos no es suficiente y se pueden presentar pérdidas para el contratista o contratante.

Por último, es importante agregar que este estudio se enfocó en el aspecto económico del equipo georradar, para la adquisición de cartografía del subsuelo, y no en las consecuencias sociales, ambientales y culturales, que se presentan con estas intervenciones, que pueden hacer inviable la ejecución de un proyecto. El profesional en topografía se ve en la necesidad de apropiarse de equipo de última tecnología, pues su adquisición presenta la posibilidad de hacer levantamientos subterráneos de manera más eficiente. Los levantamientos topográficos subterráneos con georradar tienen valor agregado, pues estas adquisiciones de datos, con las técnicas convencionales, sesgan la información recolectada, ciñéndose solamente a los puntos de apique. Un catastro actualizado y fiel a la realidad permite al contratista y al contratante ajustar los diseños contemplados a realidades más próximas del entorno del proyecto. En este contexto, los análisis en esta investigación permiten conocer los beneficios económicos que se presentan en estos proyectos, cuando se cuenta con un catastro de redes de primera mano. Es necesario establecer que

concebir la probabilidad de daño en las redes de servicios, de un proyecto, con las características del estudiado, es un juicio muy difícil, debido a la cantidad de factores que intervienen en el proceso; de tal manera, esta puede ser mayor o menor, dependiendo de variedad de situaciones.

RECOMENDACIONES

Al profesional en ingeniería topográfica: Conocer y utilizar estas tecnologías de prospección permite ampliar el campo de acción de la profesión; no se debe tener recelo al empleo de procesos de actualización tecnológica. Los análisis financieros no solo representan benéfico para valorar tecnologías recientes; también se puede evaluar el componente económico de las actividades de topografía convencional, y apreciar si el cobro realizado actualmente es justo.

Al contratista: Garantizar la ejecución de las actividades contempladas es mucho más fácil, si se conoce la totalidad del área a intervenir, los problemas nunca deben solucionarse *por el camino*, se deben proveer de herramientas a los consultores, que les permitan establecer diseños ajustados a la realidad.

Al contratante: Las demoras en la ejecución de los contratos no deben tener como excusa la deficiencia de los catastros de redes existentes; se debe trabajar en una legislación que reglamente estos levantamientos, para contemplar los escenarios, de manera real; así mismo, con esta tecnología es posible incursionar en las tecnologías de instalación de tubería sin zanja, sin incurrir en actividades adicionales de reconexión, debido al desconocimiento de acometidas.

Referencias bibliográficas

Annan, A. y Davis, J. (1976). *Impulse radar sounding in permafrost*. Columbia, Estados Unidos: Radio Science.

- Ballester, P.G. (2012). *Uso de la prospección geofísica mediante georradar para el levantamiento topográfico de redes de servicios urbanos*. Barcelona, España: Congreso de Ingeniería Municipal.
- Beltrán R., A. (2012). *Costos y presupuestos*. Tepic, México: Instituto Tecnológico de Tepic.
- Boulaem B., N.Y. (2008). *Principios y aplicación del georradar en Ecología, Geotécnica y arqueología*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Caicedo H., B. (noviembre de 2003). Aplicaciones del georradar de subsuelo en obras civiles., 18, 32-40.
- Castillo L., P. (8 de junio de 2012). Arranca modernización del centro de Bogotá. *El Espectador*, p. 18.
- Díaz, J.S. (27 de noviembre de 2013). Geotecnología S.A.S. Recuperado el 1 de agosto de 2015, de: <http://erosion.com.co/>
- El Tiempo (1 de agosto de 2015). *La dificultad de sancionar por demoras en obras*. [En línea]. Recuperado el 23 de marzo de 2016, de: <http://www.eltiempo.com/bogota/obras-en-bogota/16181417>
- Hernández L., C. (2006). *Estudio geofísico en Begastri. Resultados preliminares*. Begastri, Región de Murcia, España.: Universidad Complutense de Madrid.
- Lorenzo, E. y Hernández, C. (1995). *Prospección geofísica en yacimientos arqueológicos con georradar en España*. Región de Murcia, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Pellicer L., V. (2001). *Ensayos no destructivos en hormigón. Georradar y ultrasonidos*. Valencia, España: Universidad Politecnica de Valencia.
- Pérez G., M. (2001). *Radar de subsuelo. Evaluación para aplicaciones en arqueología y en patrimonio histórico-artístico*. Cataluña, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Tavera, M. (2008). *Aplicación del georradar para la mejora del rendimiento de una red hídrica*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.